LUCE
E
RAGGI
RONTGEN

MURANI

LUCE

E

RAGGI RÖNTGEN.

PROF. ORESTE MURANI

LUCE

E

RAGGI RÖNTGEN

CON PREFAZIONE

del Prof. R. FERRINI.

CON 15 TAVOLE E 157 INCISIONI INTERCALATE

ULRICO HOEPLI
EDITORE-LIBRAIO DELLA REAL CASA
MILANO

1898.

PROPRIETÀ LETTERARIA.

Milano – Tipografia Bernardoni di C. Rebeschini e C.

INDICE.

PREFAZIONE . . . . . *Pag.* IX

CAPITOLO I.

LUCE.

§ 1. Luce riflessa, diffusa, rifratta . . . . . *Pag.* 1
„ 2. Assorbimento della luce . . . . . „ 4
„ 3. Come si riparte la luce che cade su di un corpo . „ 5
„ 4. Rifrazione nel prisma . . . . . „ ivi
„ 5. Analisi prismatica della luce solare . . . . . „ 6
„ 6. Raggi calorifici oscuri . . . . . „ 9
„ 7. Raggi chimici ultravioletti . . . . . „ 12
„ 8. Colore dei corpi visti per diffusione . . . . . „ 14
„ 9. Colori de' corpi per trasparenza . . . . . „ 16
„ 10. Termocrosi . . . . . „ 20
„ 11. Ipotesi sulla natura della luce . . . . . „ 24
„ 12. Interferenze . . . . . „ 33
„ 13. Lunghezza d'onda de' raggi dello spettro solare . „ 34
„ 14. Fenomeni di diffrazione . . . . . „ 35
„ 15. Polarizzazione della luce . . . . . „ 42
„ 16. Dispersione anomala, formule di Helmholtz e di lord Kelvin . . . . . „ 47
„ 17. Oscillazioni elettriche . . . . . „ 54
„ 18. Propagazione delle oscillazioni elettriche nel mezzo „ 59
„ 19. Ancora delle radiazioni ultraviolette . . . . . „ 71
„ 20. Fosforescenza . . . . . „ 75
„ 21. Fluorescenza . . . . . „ 80

CAPITOLO II.

SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI.

§ 22. Scintilla elettrica . . . . . *Pag.* 87
„ 23. Influenza della pressione sulla distanza esplosiva . „ 88
„ 24. Forma della scarica . . . . . „ 89
„ 25. Densità e tensione elettrica . . . . . „ 90
„ 26. Durata della scintilla . . . . . „ 93
„ 27. Ancora della forma della scarica . . . . . „ ivi
„ 28. Scarica nei gas rarefatti . . . . . „ 95
„ 29. Stratificazione delle scariche . . . . . „ 99
„ 30. Scariche ne' vapori metallici rarefatti . . . . . „ 102
„ 31. Esperienze di Hittorf . . . . . „ 104
„ 32. Elettrolisi nei gas . . . . . „ 106
„ 33. Raggi catodici . . . . . „ 109
„ 34. Cenni sulla costituzione cinetica dei gas . . . . . „ 112
„ 35. Materia radiante . . . . . „ 114
„ 36. Proprietà dei raggi catodici . . . . . „ 115
„ 37. Riflessione dei raggi catodici; sperimenti di Goldstein „ 132
„ 38. Dissociazione dei gas operata dalle scariche . . . „ 134
„ 39. Velocità dei raggi catodici . . . . . „ 135
„ 40. Trasparenza dei metalli pei raggi catodici . . . . „ 137
„ 41. Riflessione de' raggi catodici; sperimenti di Seguy . „ 139
„ 42. Esperienze di Lenard . . . . . „ 141
„ 43. Convessione dell'elettricità dovuta ai raggi catodici. „ 146

CAPITOLO III.

RAGGI DI RÖNTGEN.

§ 44. Raggi X di Röntgen . . . . . *Pag.* 151
„ 45. Raggi catodici e raggi X . . . . . „ 164

CAPITOLO IV.

PROPAGAZIONE DEI RAGGI X — I RAGGI X E LA FLUORESCENZA
VARIE SPECIE DI TUBI — CRIPTOCROSI.

§ 46. Propagazione rettilinea dei raggi X . . . . . *Pag.* 165
„ 47. Riflessione dei raggi X . . . . . „ 166
„ 48. Rifrazione dei raggi X . . . . . „ 169
„ 49. Diffrazione dei raggi X . . . . . „ 173
„ 50. Polarizzazione dei raggi X . . . . . „ 174
„ 51. Luogo di emissione dei raggi X . . . . . „ 175

§ 52. I raggi X e la fluorescenza . . . . . *Pag.* 178
„ 53. Varie specie di tubi; tubi-focus . . . . . „ 182
„ 54. Grado di vuoto più conveniente per la produzione dei raggi X . . . . . „ 194
„ 55. Ancora dei tubi per la produzione dei raggi X . . „ 198
„ 56. Azione fluorescente, criptoscopio o fluoroscopio . . „ 205
„ 57. Actinometri pei raggi X . . . . . „ 208
„ 58. Criptocrosi . . . . . „ 212

CAPITOLO V.

AZIONI FOTOGRAFICHE — TRASPARENZA DELLE SOSTANZE PEI RAGGI X.

§ 59. Azioni fotografiche . . . . . *Pag.* 221
„ 60. Trasmissione dei raggi X . . . . . „ 227

CAPITOLO VI.

AZIONI ELETTRICHE.

§ 61. Breve storia dell'argomento . . . . . *Pag.* 239
„ 62. Esperimenti di Benoist e Hurmuzescu . . . . . „ 240
„ 63. Esperienze di J. J. Thomson . . . . . „ 245
„ 64. Esperimenti del Righi . . . . . „ 248
„ 65. Apparecchio del Righi per la misura della dispersione prodotta dai raggi X . . . . . „ 251
„ 66. Azione dei raggi X sui dielettrici . . . . . „ 253
„ 67. Misura elettrica dell'intensità relativa dei raggi X . „ 257
„ 68. Esperienze di Röntgen . . . . . „ 258
„ 69. Esperienze del Donati . . . . . „ 259
„ 70. Esperienze di Battelli e Garbasso . . . . . „ 261
„ 71. Sperimenti di lord Kelvin . . . . . „ 262
„ 72. Esperimenti del Villari . . . . . „ 264
„ 73. Seguito delle esperienze del Villari . . . . . „ 267
„ 74. Influenza della pressione sulla dispersione dell'aria provocata dai raggi X . . . . . „ 270
„ 75. Ipotesi della convezione elettrica nei gas . . . . „ 274
„ 76. Della maniera con la quale i raggi X scaricano i corpi elettrizzati . . . . . „ 276
„ 77. I dielettrici solidi e liquidi diventano conduttori, quando sono colpiti dai raggi X? . . . . . „ 278
„ 78. Ufficio del dielettrico nella scarica operata dai raggi di Röntgen. — Sperimenti di Perrin . . . . . „ 281

§ 79. Esperimenti di A. Sella e Q. Maiorana . . . . . *Pag.* 287
„ 80. I gassi prodotti dalla combustione influiscono sulla lunghezza della scarica esplosiva nell'aria. — Esperimenti di Garbasso . . . . . „ 290

CAPITOLO VII.

ALTRI ESPERIMENTI.

§ 81. I raggi X nei campi magnetici ed elettrici . . . . *Pag.* 295
„ 82. Sperimenti di Battelli e Garbasso . . . . . „ 302
„ 83. Azione meccanica dei raggi X . . . . . „ 312

CAPITOLO VIII.

NATURA DEI RAGGI X.

§ 84. Natura dei raggi catodici . . . . . *Pag.* 315
„ 85. Natura dei raggi X . . . . . „ 317

CAPITOLO IX.

DISPOSIZIONI SPERIMENTALI E APPLICAZIONI.

§ 86. Modi diversi di eccitare i tubi di Crookes . . . . *Pag.* 327
„ 87. Apparecchio di rarefazione . . . . . „ 343
„ 88. Procedimenti sperimentali . . . . . „ 345
„ 89. Applicazioni . . . . . „ 355

CAPITOLO X.

FENOMENI DIVERSI. -- RAGGI DI BECQUEREL.

§ 90. Scariche elettriche e raggi X . . . . . *Pag.* 369
„ 91. La luce nera . . . . . „ 371
„ 92. Le fiamme e i raggi X . . . . . „ 375
„ 93. Cause che impressionano le lastre fotografiche . . „ 378
„ 94. Raggi Becquerel . . . . . „ 382

PREFAZIONE.

Ben poche, se pure una, delle scoperte fisiche ebbero subito la voga popolare incontrata da quella di Röntgen. Delle impressioni fotografiche prodotte traverso tavole di legno, traverso volumi di un migliaio di pagine, o lamine metalliche; l'ombra delle ossa della mano coll' anello cingente a largo intervallo la sua falange, quella dello scheletro d'una rana o d'un pesce, projettate, traverso i medesimi ostacoli, in mezzo alla superficie resa fosforescente d'uno schermo, erano meraviglie singolarmente proprie a colpire l'imaginazione, e le applicazioni che si cominciava a farne e le altre, più o meno fondate, che si andavano progettando tenevano desta la curiosità del pubblico.

Un' attrattiva non meno potente eccitava quella scoperta nei fisici che vi scorgevano la rivelazione di una nuova forma di energia, problematica nei caratteri che presentava, e dalla cui investigazione si ripromettevano di penetrare un po' più addentro nei segreti della natura. E difatti i più valenti di loro, da noi ed all'estero, si accinsero alacremente al lavoro, e con svariati sperimenti studiarono sotto molteplici aspetti le proprietà dei raggi X; tra loro, uno dei primi, l'autore del presente libro. Questo studio non si può dire compiuto, chè sulla natura dei nominati raggi regna ancora molta oscurità: le ipotesi proposte per spiegarli non presentano che gradi di maggiore o minore probabilità, ma nessuna si può dire esente da obiezioni.

In questo libro il prof. Murani riassume la storia di tali ricerche dalla loro origine fino ad oggi e, per meglio chiarirla, ve ne fa precedere una concisa delle scoperte che nella prima metà del nostro secolo si compirono nell' ottica, dalle quali risultò dimostrato ad evidenza che la luce e le altre radiazioni che l'accompagnano consistono in ondulazioni di varia lunghezza dell'etere. Segue l'esposizione degli studi sulle svariate forme di scariche elettriche attraverso gas più o meno diradati, a cui tien dietro la scoperta dei raggi catodici e delle loro proprietà; poi quella dei raggi Röntgen che hanno stretta parentela con loro. Nè vi manca un accenno agli apparecchi del Tesla ed alle più importanti applicazioni e l'opera si chiude riferendo le ricerche di nuove forme di radiazioni e in particolare quelle importanti di Becquerel. A ciascun capitolo segue un indice bibliografico relativo agli argomenti che vi sono trattati.

Con tale indirizzo l'opera del Murani riesce non meno importante che utile, poichè mentre la facile e chiara esposizione mette alla portata del lettore, appena un po' infarinato di fisica, la cognizione di un complesso di fenomeni interessantissimi, d' altra parte agevola grandemente il compito dello scienziato presentandogli raccolto ed ordinato un materiale che altrimenti dovrebbe ricercare a fatica nelle memorie delle varie accademie e nei più reputati periodici scientifici.

La narrazione vi procede poi in modo che il lettore può seguire l' ordine dei concetti che informarono le ricerche descritte, il cui disegno emerge dalla discussione degli sperimenti e delle ipotesi che li avevano suggeriti, ciò che reca una soddisfazione assai più viva di quella di una nuda descrizione in forma altrettanto brillante.

Non aggiungo altro, persuaso che il lettore converrà meco riconoscendo il merito dell'opera e la speciale competenza del suo autore.

Suna, 1.° settembre 1897.

Prof. RINALDO FERRINI.

CAPITOLO I.

LUCE.

§ 1. **Luce riflessa, diffusa, rifratta.** — I raggi emessi dalle sorgenti luminose arrivando alla superficie di separazione di due mezzi, per esempio aria ed acqua, danno luogo, in generale, a tre fenomeni distinti: LA RIFLESSIONE, LA DIFFUSIONE E LA RIFRAZIONE.

Una parte della luce forma i raggi riflessi regolarmente, cioè il raggio riflesso e l'incidente sono in un medesimo piano colla normale condotta nel punto d'incidenza, e formano con questa angoli uguali; vale a dire *l'angolo d'incidenza e di riflessione sono uguali e sono in un medesimo piano.* Alla luce riflessa regolarmente sono dovute le imagini degli oggetti che si specchiano nell' acqua, quelle fornite dagli specchi delle nostre stanze ecc.

Una seconda parte torna indietro anch' essa come la riflessa, ma si sparpaglia in tutte le direzioni, ossia si diffonde. La luce diffusa è tanto più debole quanto più è levigata e tersa la superficie di separazione: i raggi diffusi ci permettono di vedere gli oggetti oscuri, e rendono questi atti ad illuminare altri corpi.

Un' altra parte della luce finalmente si rifrange, cioè devia dalla sua direzione penetrando nel secondo mezzo e forma i raggi rifratti. Questo fenomeno della rifrazione accade ogni volta che un raggio di luce arriva obliquamente sulla superficie di separazione di due corpi o mezzi trasparenti, che siano diversi per la sostanza o per la densità.

Rappresenti, per esempio, MM' il piano orizzontale che separa l'aria dall'acqua, e arrivi in N un raggio incidente IN che faccia colla normale PP' l'angolo d'incidenza INP, che indicheremo con i (fig. 1). Questo raggio in luogo di progredire nella direzione INI', in parte si riflette regolarmente secondo NT, in parte si diffonde; un'altra parte poi passa nel secondo mezzo e dà luogo al raggio rifratto NR, che colla normale fa l'angolo della rifrazione RNP', che diremo r. Se il raggio rifratto, come accade in questo caso, si avvicina alla normale, si dirà che il secondo mezzo è più rifrangente del primo: l'acqua è dunque più rifrangente dell'aria. Le leggi che governano la rifrazione della luce furono scoperte da Snellius; esse sono le seguenti:

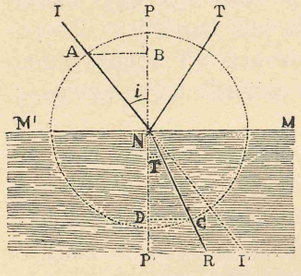


Fig. 1.

1.° *Il raggio rifratto è nel piano di incidenza, cioè nel piano formato dal raggio incidente e dalla normale alla superficie dividente, condotta nel punto d'incidenza;*

2.° *Il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione sono in un rapporto costante, indipendente dall'inclinazione dei raggi.* Tale rapporto non dipende che dalla natura dei mezzi considerati, e dal colore della luce incidente.

Per intendere il significato di questa seconda legge della rifrazione, descriviamo, facendo centro in N e con raggio uguale all'unità, una circonferenza; dai punti A e C dove essa incontra il raggio incidente e quello rifratto, conduciamo le perpendicolari AB, CD sulla normale PP'. Le dette perpendicolari sono rispettivamente il seno dell'angolo di incidenza e quello dell'angolo di rifrazione.

La legge dice che, comunque varî l'angolo i, varia anche l'angolo r in modo che il rapporto $AB : CD$ rimane

sempre lo stesso. Tale rapporto costante fra il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione di un dato raggio, che passi da una sostanza ad un'altra più rifrangente, è detto INDICE DI RIFRAZIONE RELATIVO delle due sostanze: esso ha un valore maggiore dell'unità; per l'aria e l'acqua è circa $\frac{4}{3}$, per l'aria e il vetro circa $\frac{3}{2}$.

Questo indice ha un significato fisico importante: secondo la teoria che considera la luce come un moto ondulatorio dell'etere, esso esprime il rapporto della velocità di propagazione della luce nei due mezzi; e poichè ha un valore maggiore dell'unità, ne segue che la luce si propaga più velocemente nell'aria che nell'acqua, come è stato verificato direttamente con esperienze da Foucault.

La ipotesi della emissione, che faceva consistere la luce in una proiezione di particelle materiali imponderabili, operata dalle sorgenti luminose, conduceva invece al risultato opposto: secondo la detta ipotesi, l'indice esprimeva il rapporto inverso delle dette velocità, ossia la velocità nell'acqua doveva essere maggiore che nell'aria; ma ciò è in aperta contraddizione coll'esperienza, come si è detto.

Le velocità di propagazione dei diversi raggi colorati semplici non differiscono punto fra loro nel vuoto e nei gas, ma differiscono bene nei corpi trasparenti liquidi o solidi. Ora l'esperienza mostra che le diverse luci sono diversamente rifrangibili, e propriamente dalle misure risulta che gli indici di rifrazione appartenenti alle diverse luci, per due dati mezzi, vanno gradatamente crescendo dai raggi rossi ai raggi violetti; è quindi necessario inferirne che i raggi violetti subiscano ne' mezzi suddetti un ritardo nella loro velocità di propagazione maggiore di quello subìto dai raggi rossi.

Grazie a questa differenza di rifrangibilità, le parti diversamente colorate dalla luce bianca seguono in generale delle direzioni differenti dopo una rifrazione nei corpi liquidi o solidi; questo fatto ne dà il modo di separarle con un prisma, come vedremo.

§ 2. **Assorbimento della luce.** — Quando un raggio di luce propagandosi in un mezzo conserva la sua intensità, qualunque sia la distanza percorsa, il mezzo è detto TRASPARENTE: non esiste però alcun mezzo che sia assolutamente tale, se si eccettua il vuoto. Accade quasi sempre invece che la luce si indebolisca a poco a poco nella sua propagazione. Ciò può accadere per due ragioni diverse: o essa è riflessa e rifratta diffusamente nell' interno, il che accade quando incontra piccoli corpi estranei, fenditure, punti di struttura differente; il mezzo pare allora torbido e rischiarato nel suo interno: o essa s'indebolisce senza essere deviata dalla sua direzione, ed allora subisce un vero assorbimento dalla parte del mezzo. E poichè tale assorbimento si opera in misura diversa sui raggi di diversa rifrangibilità, accade che la luce bianca attraversando dei mezzi assorbenti, diviene il più delle volte colorata, e il mezzo sembra esso stesso colorato. CORPI TRASPARENTI INCOLORI sono detti pertanto quelli che lasciano passare tutte le luci, senza indebolirle: COLORATI quelli che sono invece trasparenti soltanto per alcune luci.

L'assorbimento dei raggi luminosi è sovente accompagnato da effetti chimici; qualche volta si produce della luce e quasi sempre del calore. Se si riproduce della luce, questa è emessa in tutti i sensi e differisce dalla luce assorbita sia per il colore che per la composizione: questo stato luminoso della sostanza è detto FOSFORESCENZA, se dura più a lungo che l'azione della luce incidente eccitatrice, FLUORESCENZA se la luce della sostanza cessa al cessare della sua illuminazione.

Sono p. es. sostanze fosforescenti alcuni solfuri dei metalli alcalino-terrosi, come il solfuro stronzico e il solfuro di calcio.

Sono sostanze fluorescenti il vetro di uranio, il solfato di chinina sciolto nell' acqua a cui si aggiungono poche goccie d'acido solforico, la soluzione nell' etere della clorofilla, una soluzione nell'acqua dell' esculina contenuta nelle corteccie verdi dell' ippocastano, il platino-cianuro di bario, quello di potassio, ecc., ecc.

Nella fluorescenza la luce emessa dalla sostanza è in generale meno rifrangibile di quella eccitatrice.

§ 3. **Come si riparte la luce che cade su di un corpo.** — Sia Q la quantità di luce che cade sulla superficie di un corpo trasparente; indicando con R la parte di luce riflessa o diffusa, con T quella trasmessa, con A l'altra assorbita dal corpo, si ha per le cose dette

$$Q = R + T + A;$$

$$\text{ossia } 1 = \frac{R}{Q} + \frac{T}{Q} + \frac{A}{Q}.$$

Le frazioni che costituiscono il secondo membro di questa eguaglianza sono dette ordinatamente *potere riflettente, potere trasmissivo, potere assorbente del corpo;* e si vede che la loro somma è in ogni caso eguale all'unità.

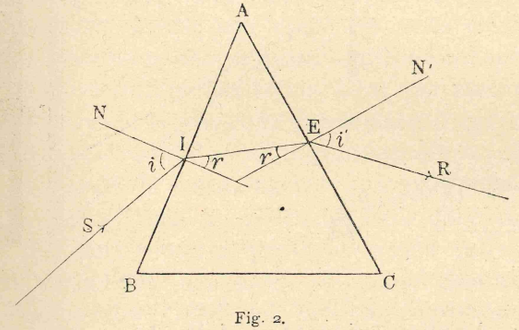


Fig. 2.

§ 4. **Rifrazione nel prisma.** — Vediamo ora come la luce venga rifratta da un prisma. Supponiamo che il piano d'incidenza sia una sezione principale del prisma, una sezione cioè normale agli spigoli; supponiamo che il raggio incidente sia di luce omogenea o monocromatica, come si dice: è facile vedere che esso subirà due rifrazioni, una nel punto I dell' incidenza e l'altra in quello E dell' emergenza, le quali opereranno nello stesso verso per allontanare il raggio dal vertice A (angolo rifrangente del prisma), e avvicinarlo alla base (fig. 2).

L'angolo formato dal raggio incidente e da quello che emerge dalla seconda faccia del prisma misura la deviazione; questa è minima, come il calcolo prova e l'esperienza conferma, quando l'angolo d'incidenza i e quello di emergenza i' sono uguali.

Se da un punto S cadrà sul prisma un fascetto di raggi monocromatici, questi all' emergenza formano un fascio di raggi divergenti, che prolungati sì incontrano in un punto G. (fig. 3). L'occhio che accoglie il fascetto emergente vedrà dunque in G una imagine virtuale del punto S; lo stesso accadrebbe qualora invece di un punto, S fosse una fenditura.

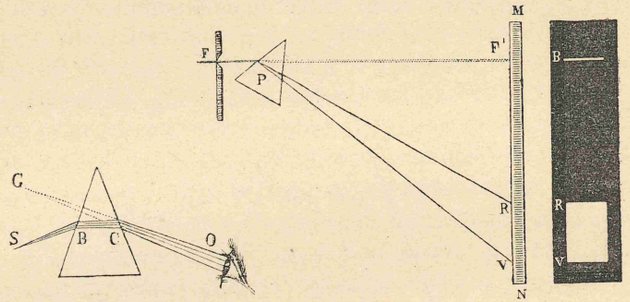


Fig. 3.

Fig. 4.

§ 5. **Analisi prismatica della luce solare.** — Col portaluce, ossia con uno specchio piano che si può inclinare in tutti i sensi, si faccia entrare, attraverso ad una sottile fenditura F, (fig. 4) in una stanza buia un fascio di luce solare: se sul suo cammino s'interpone una lente acromatica convergente, che non è rappresentata nella figura, si vedrà su uno schermo bianco, collocato ad una conveniente distanza dalla lente, una imagine netta della fenditura, che, per fissare le idee, supporremo orizzontale, Ponendo di poi, immediatamente dietro la lente, un prisma P di vetro, con l'angolo rifrangente parallelo alla fenditura, in guisa che il fascio sia in un piano perpendicolare agli spigoli del prisma, se l'incidenza è opportuna, si vedrà il

fascetto luminoso non solo deviare verso la base del prisma, ma di più aprirsi a mo' di un ventaglio, dando un' imagine della fenditura in $R\,V$, allungata nel senso verticale e vagamente ornata dei colori dell'iride, col rosso R meno deviato in alto e il violetto V più deviato in basso. L'imagine della fenditura così allungata e colorata è detta spettro solare. Newton che primo fece questa esperienza, distingueva nello spettro sette colori, che comunemente si succedono così, andando dal meno al più rifrangibile: ROSSO, ARANCIATO, GIALLO, VERDE, AZZURRO, INDACO e VIOLETTO: essi son detti i sette colori primitivi o principali dello spettro. Tale separazione della luce bianca ne' suoi colori costituisce il fenomeno della DISPERSIONE DELLA LUCE. La divisione suddetta delle luci spettrali in sette colori è però arbitraria, perchè non esiste un netto confine fra due colori successivi, ma si passa dall'uno all' altro per una infinità di sfumature lievissime. Così, per esempio, fra il giallo ed il verde si potrebbe intercalare il GIALLO-VERDASTRO; fra l'azzurro ed il verde l'AZZURRO-VERDASTRO, ecc.

Se si guarda il fascio aperto a ventaglio alla sua emergenza del prisma, si vede che esso offre un graduazione di colori simile a quella osservata sulla parete bianca; si tocca, per così dire, con mano che all' unico fascetto bianco che entra nel prisma, corrisponde una moltitudine di raggi luminosi diversamente colorati, diversamente inclinati sulla direzione del fascio incidente, ossia diversamente rifrangibili, contenuti tutti nel medesimo piano dell' incidenza.

Ciascun colore dello spettro è semplice: difatti se nello schermo bianco che riceve lo spettro si apre un piccolo foro, il fascio sottilissimo che vi passa, non sarà ulteriormente decomposto da un secondo prisma, ma soltanto deviato più o meno verso la sua base. Un fascio formato da raggi omogenei, ossia di una stessa rifrangibilità costituisce un COLORE SEMPLICE, o una LUCE MONOCROMATICA. E se in verità la luce solare è composta dei raggi variamente colorati che formano lo spettro,

facendoli convergere tutti in un punto, si dovrà ricostituire la luce bianca: ciò infatti succede bene adoperando uno specchio concavo, o una lente biconvessa, oppure portando lo schermo vicinissimo al prisma. Si può anche destare la sensazione del bianco facendo arrivare all'occhio tutti i raggi dello spettro con successione rapidissima, facendoli cioè riflettere da uno specchio piano che ruoti o che oscilli: allora, per la persistenza delle immagini nell'occhio, tutto accade come se le eccitazioni successive dei vari raggi fossero simultanee, onde si fondono in una unica sensazione. Per la stessa ragione si desta la sensazione del bianco facendo rapidamente ruotare il disco di Newton, il quale è diviso in settori dipinti dei colori dello spettro e succedentisi nello stesso ordine.

Le varie luci dello spettro risulteranno tanto più nettamente separate e distinte, quanto più stretta sia la fenditura, quanto più forte sarà l'ingrandimento della lente e maggiore la dispersione dal prisma, l'angolo cioè formato dai raggi estremi rossi e violetti.

A tal uopo un prisma di solfuro di carbonio è più adatto di un prisma di flint, e questo serve meglio di un prisma di crown. Sodisfacendo alle condizioni suddette, si otterrà uno spettro puro del sole, nel quale si potranno constatare innumerevoli soluzioni di continuità, sotto la forma di tante righe nere, osservate prima da Wollaston, e studiate poi con molta cura da Fraunhofer, e da altri; onde esse furono dette *righe di Fraunhofer*. Queste righe provano che non giungono a noi dal sole i raggi delle corrispondenti rifrangibilità.

Quando la dispersione è moderata, tali righe si riuniscono in gruppi; se ne distinguono con Fraunhofer nove delle più appariscenti con le lettere maiuscole dell'alfabeto; *A*, *B*, *C* sono nel rosso; *D* nel giallo, che è la luce più brillante dello spettro; *E* fra il giallo e il verde; *F* nell'azzurro verdastro; *G* nell'indaco; *H*, *H'* nel violetto. (V. tavola 1.ª).

Queste linee si vedono meglio se, invece di projettare lo spettro, lo si osserva col mezzo di un cannocchiale, come si fa nello spettroscopio.

§ 6. **Raggi calorifici oscuri.** — Oltre ai raggi luminosi che impressionano la retina, fanno parte dello spettro solare altri raggi che non sono visibili. Sono questi i raggi OSCURI CALORIFICI meno rifrangibili dei raggi rossi, e i RAGGI ATTINICI o CHIMICI più rifrangibili del violetto.

I raggi calorifici oscuri dello spettro furono scoperti da HERSCHEL: questi per istudiare la distribuzione dell'effetto calorifico nello spettro solare, poneva un sensibile termometro successivamente nelle regioni variamente colorate. Constatò così che il potere calorifico dei diversi colori va gradatamente aumentando dal violetto al rosso; e portando il termometro al di là di questo colore, dove l'occhio più non discerne alcuna luce, trovò che lo spettro calorifico continuava e che anzi raggiungeva il suo massimo al di là del rosso. Questa esperienza prova: 1.° che vi hanno raggi calorifici di diversa rifrangibilità, poichè essi formano uno spettro come la luce; 2.° che ne esiste una infinità di cui l'indice di rifrazione è lo stesso di quello delle diverse luci semplici; essi sono pertanto raggi luminosi e calorifici; 3.° che finalmente v'ha un numero infinito d'altri raggi invisibili od oscuri, i quali hanno un indice di rifrazione minore del rosso estremo. Così la scala delle radiazioni solari non si limita all'estremo rosso, quantunque più in là l'occhio nulla veda; e come il sole, così tutte le altre sorgenti di luce, ed eziandio i corpi oscuri emettono continuamente simili radiazioni, alle quali si dà il nome di CALORE RAGGIANTE.

Parecchi anni dopo Herschel, Melloni rifece le medesime esperienze sostituendo al termometro ordinario, poco adatto in tali ricerche, una pila termoelettrica di Nobili; ma poichè il flint assorbe gran parte del calore oscuro, per ottenere lo spettro egli si servì di un prisma e d'una lente di salgemma. La pila era una pila lineare, avente

cioè la forma speciale rappresentata dalla fig. 5; la sua faccia è un rettangolo che dei pezzi laterali mobili possono rendere tanto stretta quanto si desidera, affinchè ponendola nelle varie regioni dello spettro, essa ne riceva un fascio sottile, costituito da raggi pressochè omogenei. Proiettando sullo schermo uno spettro puro del sole, e raccogliendo via via i vari raggi sulla pila lineare, si determina successivamente la loro intensità calorifica per mezzo della deviazione dell'ago del galvanometro, congiunto alla pila.

Nel violetto dello spettro il calore è presso a poco insensibile; ma a misura che la pila si muove dal violetto verso il rosso, la deviazione del galvanometro aumenta, segno che la corrente, e

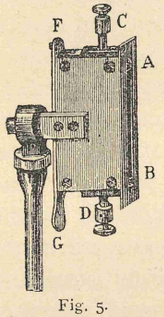


Fig. 5.

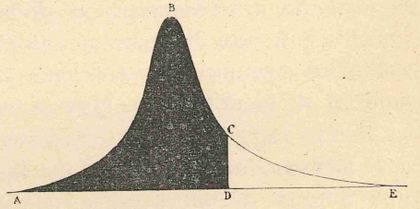


Fig. 6.

quindi il calore ricevuto dalla pila aumenta. Il rosso possiede il potere calorifico più alto di tutti i colori dello spettro. Portando poi la pila nello spazio oscuro al di là del rosso, il calore aumenta ancora, e a qualche distanza al di là di questo colore esso raggiunge il suo massimo. In seguito l'intensità calorifica diminuisce e si estingue a poco a poco.

Tiriamo una linea orizzontale per rappresentare la lunghezza dello spettro, ed eleviamo su questa linea nei suoi differenti punti delle normali proporzionali al calore ivi constatato: otterremo la curva della fig. 6 che mostra la distribuzione del calore nello spettro. Cominciando dall'azzurro, la curva si eleva dapprincipio lentamente e gradualmente; verso il rosso essa monta più veloce.

La linea CD rappresenta l'intensità della radiazione rossa estrema: al di là del rosso, essa s'innalza rapidamente in B a modo di un picco; indi scende dapprima rapidamente, poi lentamente, e diviene di più in più insensibile per la pila. Si può osservare che le aree degli spazi neri e bianchi rappresentano le energie relative delle radiazioni visibili ed invisibili; quest'ultima è circa 7, 7 l'altra. L'idea pertanto che tale curva ci impone, è che il calore che ci viene dal sole è nella maggior parte oscuro; esso si rivela col forte riscaldamento che produce nei corpi atti ad assorbirlo.

Il rapporto del calore luminoso al calore oscuro varia colla diversa temperatura delle sorgenti: così stando alle esperienze di Tyndall, la radiazione luminosa non è che $\frac{1}{25}$ della radiazione complessiva in una fiamma a gas delle più splendide, la cui temperatura può stimarsi a 1500°; arriva invece ad un quinto della complessiva nelle lampade ad arco, dove si raggiungono temperature da 3000 a 4000°.

Ogni corpo possiede sempre una certa quantità di calore, giacchè non esiste in natura un corpo assolutamente freddo; ogni corpo dunque irraggia continuamente dell'energia. Prendiamo un filo di platino e interponiamolo in un circuito percorso da una corrente elettrica, la cui intensità si possa regolare a piacere con un reostata: il filo si riscalderà fino a diventare rovente; splenderà prima di un rosso cupo, poi di un rosso più vivo, finchè diventerà bianco o incandescente, ed allora si avrà lo spettro completo. Ma intanto coll'aumentare delle radiazioni luminose, anche le oscure, che il filo emetteva a temperature relativamente basse, lungi dall'estinguersi si fanno più intense. Draper ha mostrato questa verità con un'analisi prismatica accurata: a 525° tutti i solidi cominciano ad emettere i raggi rossi, e col graduale riscaldamento lo spettro si estende via via verso il violetto, acquistando in pari tempo nuovo splendore nella porzione

preesistente; lo spettro diviene completo alla temperatura di circa 1500°, e allora il corpo irraggia della luce bianca. Ultimamente H. F. Weber ha notato che le cose avvengono in modo alquanto diverso: l'incandescenza, secondo lui, comincia ad essere percepita come un grigio nebuloso di rifrangibilità molto prossima a quella della luce gialla; e coll'innalzarsi della temperatura, il grigio primitivo passa al giallastro, e poi a una tinta rossa, e lo spettro si estende simultaneamente al di qua ed al di là della regione media, verso il rosso e verso il violetto. Pare poi che i vari metalli non richiedano la stessa temperatura per essere percepiti con quel tal grigio nebuloso; per esempio il ferro principia a 405°, il rame e l'argento a 415°. Secondo Emden ciò probabilmente può dipendere dalla circostanza che i vari corpi richiedano temperature diverse per emettere quel minimo di energia, necessaria per la percezione visiva.

§ 7. **Raggi chimici ultravioletti.** — Tutti conoscono gli effetti chimici della luce solare, sulla quale è fondata l'arte fotografica. Se si raccoglie lo spettro sopra una lastra sensibile fotografica, si trova che l'impressione si estende dalla linea *E* di Fraunhofer fino al di là dell'estremo violetto, per un tratto uguale all'incirca a tutto quello che si vede: e l'impressione è solcata, oltre che dalle righe note nella regione visibile, anche da altre righe nella invisibile, le più forti delle quali furono contrassegnate con le lettere *L*, *M*, *N*, ecc.

Lo spettro di questi raggi ultravioletti fu scoperto dal Ritter (an. 1801) e dal Wollaston (an. 1802); ma la fotografia ne venne eseguita solo molto più tardi (an. 1842) da Ed. Becquerel, e ultimamente da Mascart, che in questa regione ultravioletta ha potuto fotografare più di 700 righe. Esiste dunque al di là del violetto estremo dello spettro, una infinità di raggi invisibili, ma atti a produrre azioni chimiche: per questa ragione furono detti RAGGI CHIMICI o ATTINICI. Essi formano una radiazione più o meno estesa a seconda delle sorgenti luminose e della sostanza ond'è

costituito il prisma. La luce elettrica e quella del magnesio danno fotografie, che sono ancora più estese di quelle del sole: il quarzo poi è più trasparente del flint per questi raggi.

Altra esperienza per constatare l'esistenza di queste radiazioni e renderle visibili, si basa sulla proprietà che hanno certe sostanze di assorbirle e di diventare luminose per fluorescenza; il vetro di uranio emette una luce color verde pisello, quando è colpito dalle radiazioni attiniche; la soluzione di solfato acido di chinina e quella di esculina risplendono di un bel color celeste; il platinocianuro di potassio acquista una tinta bianco-violetta. Se si produce col mezzo di una lente o di un prisma di quarzo o di flint uno spettro puro nel modo che si è detto, e lo si proietta, anzichè su un foglio di carta comune, sopra uno schermo di carta preparato con platinocianuro di potassio, si osserva un'estensione notevole dello spettro visibile; si vedrà cioè non solo il violetto divenuto più brillante, ma inoltre risplendere una bella luce, là dove nel caso della carta non preparata non si vede assolutamente nulla.

Ponendo sulla via d'un fascio di raggi solari, in una stanza buia, un vetro di color violetto carico, si estingue quasi del tutto la luce, poichè si propagano attraverso a un tal vetro soltanto i raggi violetti ed ultra violetti. Si faccia cadere questo fascio cosi composto di raggi quasi esclusivamente attinici sull'acqua, contenuta in un bicchiere: se alla sua superficie si gettano pezzetti di corteccia verde di ippocastano, si vedrà immediatamente apparire il bleu cielo più splendido, dovuto ad un effetto di fluorescenza.

Come quello del sole così anche lo spettro delle altre sorgenti di luce è sempre formato, con diverse proporzioni però, dalle tre specie di raggi ora dette, cioè: RAGGI CALORIFICI OSCURI, RAGGI LUMINOSI e RAGGI CHIMICI.

L'estensione, la copia di ciascuna specie di tali raggi, dipende essenzialmente dalla natura della sorgente e dalla sua temperatura; così lo spettro delle ordinarie fiamme è

relativamente ricco di raggi oscuri e di quelli luminosi meno rifrangibili; il contrario accade per la luce elettrica, ricchissima dei raggi più rifrangibili e di quelli ultravioletti.

§ 8. **Colore dei corpi visti per diffusione.** — Ciò posto, i corpi che non sono luminosi di per sè, noi li vediamo mercè i raggi che ricevono e che diffondono in tutte le direzioni. Li vediamo bianchi o grigi quando diffondono tutti i raggi nella stessa misura, e li vediamo neri quando, al contrario, li assorbono tutti.

Ma quando, esercitando un'azione selettiva, essi assorbono alcune radiazioni e diffondono le rimanenti, noi li vedremo colorati. Se, per esempio, un corpo ci appare verde, questo accade perchè esso assorbe i raggi delle altre rifrangibilità e rinvia all'occhio di preferenza i raggi verdi; analogamente un corpo rosso riflette di preferenza questo colore, e assorbe, estinguendoli, gli altri. Affinchè i corpi possano compiere questa funzione selettiva, è necessario che esista una certa relazione fra le ultime particelle dei corpi e la luce bianca. I corpi ricevono con la luce bianca del dì che li inonda, la somma totale di tutte le luci, di tutti i colori possibili; la loro azione si limita a filtrare codesta somma totale, ad appropriarsi alcuni raggi e a rigettarne alcuni altri. È quindi la parte della luce respinta e non quella assorbita, che comunica ai corpi il loro colore.

Produciamo uno spettro e projettiamolo successivamente su schermi diversi: se lo schermo è bianco, vi scorgeremo le varie gradazioni di colori, con le medesime intensità relative, come se si osservassero direttamente: se invece lo schermo è nero, per esempio una carta coperta di nero di fumo, tutte le luci sono estinte allo stesso modo. Facciamo ora cadere lo spettro su un panno rosso: nella regione rossa il panno è d'un rosso vivo, ivi la luce non è estinta, ed è in gran parte rinviata all'occhio; nella regione verde lo stesso panno appare invece quasi nero, il che vuol dire che esso assorbe la luce verde e l'estingue.

Ricevendo di poi lo spettro su di un panno verde, accadrà il contrario; la regione del rosso è oscura, e il verde splende di viva luce. Pertanto, quando si impiega della luce bianca indecomposta, il rosso assorbe ed estingue il verde, e il verde estingue il rosso, e tutti e due mostrano il colore rimanente: i colori dei corpi visti per diffusione sono dunque prodotti per sottrazione e non per addizione di luce.

Facendo l'esperienza precedente, se ben si osserva, si vedrà con il panno verde anche un po' di turchino e di giallo; con il panno rosso, un po' di aranciato: questo fatto del comparire sul diaframma colorato i colori vicini a quello del diaframma, prova che i colori de' corpi visti per diffusione sono composti; la qual cosa si verifica facilmente col mezzo dello spettroscopio.

Ciò spiega in qual modo i pittori riescano a formare la tinta verde, mescolando un pigmento azzurro con uno giallo, mentre i raggi azzurri e gialli dello spettro sovrapposti destano la sensazione del bianco. Le polveri difatti non diffondono mai della luce monocromatica; il pigmento giallo diffonde abbondantemente i raggi gialli e verdi e assorbe i turchini e i violetti; il pigmento azzurro diffonde invece i raggi azzurri e verdi, e assorbe i rossi e i gialli; cosicchè nella luce diffusa rimane predominante il verde.

A completare la spiegazione del colore de' corpi visti per diffusione, aggiungeremo che l'assorbimento di alcune luci ha luogo non propriamente alla superficie, che riflette sempre un po' di luce bianca, ma nello straterello eccessivamente tenue sottoposto, il quale è permeabile alla luce, come lo prova il fatto che tutti i corpi, sotto tenuissimo spessore, diventano trasparenti: l'oro, per esempio, ridotto in foglie sottilissime lascia passare la luce verde. Dipende dal trattamento che subisce la luce che penetra nel primo straterello del corpo, il colore di questo: così, per esempio, i pigmenti dei pittori consistono in particelle mescolate fra loro, ordinariamente per mezzo di un liquido; ma per

quanto intima sia la mescolanza, risulterà sempre da una moltitudine di parti, separate fra loro da distanze piccolissime: in una parola, la mescolanza non costituirà un mezzo otticamente continuo. Ora, dovunque la continuità ottica è interrotta, vi sarà riflessione della luce incidente. È per le riflessioni successive alla superficie delle particelle che la luce non può attraversare il vetro, o il cristallo di rocca, sostanze trasparentissime, quando siano ridotti in polvere: la luce si indebolisce in tal caso per una infinità di riflessioni, e l'assorbimento che ne segue ad ognuna di esse è tale, che finalmente resta estinta.

È per una moltitudine di riflessioni simili che risulta impenetrabile alla luce una massa di neve, sebbene formata di particelle d'aria e di cristalli; queste particelle prese separatamente sono trasparenti, ma diventano praticamente opache quando sono mescolate insieme. Ed è per la stessa ragione che una nube procellosa, formata di particelle d'aria e di goccioline d'acqua o di ghiacciuoli, risulta opaca alla luce.

Nel caso dei pigmenti pertanto, la luce è riflessa un gran numero di volte dalle superficie limiti delle particelle che li costituiscono, e ad ogni riflessione v'è una perdita per assorbimento. La riflessione è necessaria per rinviare all'occhio la luce, l'assorbimento ci vuole per dare ai corpi il loro colore. La rosa è rossa non in virtù della luce riflessa alla sua superficie, ma in virtù della luce diffusa nella sua sostanza dalle superficie che ne limitano le parti interne, e della estinzione per assorbimento della luce verde. La medesima legge si applica alla spiegazione delle infinite varietà di smaglianti colori, che ci presentano per diffusione i corpi della Natura.

§ 9. **Colori de' corpi per trasparenza.** — Nè hanno diversa origine i colori de' corpi visti per trasparenza. Tutti i corpi, anche i più trasparenti, assorbono più o meno la luce. Una cassa di vetro piena di limpida acqua, interposta sul cammino di un raggio di luce solare, non

cangia, in modo apprezzabile, i colori dello spettro forniti dal raggio. Tuttavia l'assorbimento, per quanto insensibile, ha luogo; per metterlo in evidenza, basterà aumentare lo spessore dell'acqua attraverso la quale la luce passa. In luogo di una cassa di pochi centimetri di spessore, si prenda allora un tubo di 4 o 5 metri, pieno d'acqua e chiuso all'estremità da due vetri, con le faccie ben piane e parallele: il colore dell'acqua diviene così evidente. Aumentando lo spessore, si assorbe una maggior quantità di luce; e quando esso diventa assai grande, tutta la luce è estinta. Le profondità de' mari sono immerse nelle tenebre le più fitte; dell'inchiostro non potrebbe fare niente di più: la sola differenza fra questa sostanza e l'acqua è che con essa basta un piccolissimo spessore per estinguere tutta la luce. Tra la trasparenza la più perfetta e l'opacità la più assoluta non c'è che differenza di grado. Quando si osserva convenientemente di alto in basso una massa d'acqua limpida e profonda, l'acqua appare nera; questo nero è un segno della purezza e della profondità.

Alcuni corpi poi esercitano un'azione elettiva sulla luce che li attraversa, assorbendo certe radiazioni e trasmettendo le altre, anche sotto piccolo spessore: essi allora risultano intensamente colorati. Tali sono, per esempio, alcuni vetri e fogli di gelatina colorati, certe soluzioni di sali nell'acqua, come la soluzione turchina di solfato di rame, quella arancia di bicromato di potassio, ecc. Se interporremo uno qualunque di questi mezzi colorati fra la fenditura e il prisma, o fra questo e lo schermo, sempre osserveremo che lo spettro è modificato; alcune delle tinte che prima vi rifulgevano saranno scomparse od almeno assai indebolite; altre conserveranno presso a poco la primitiva chiarezza.

Così un vetro rosso estingue tutti i raggi più rifrangibili dello spettro, ossia è opaco pei raggi verdi, azzurri e violetti; il vetro di cobalto invece, che è turchino per trasparenza, assorbe quasi tutto il giallo ed il rosso, meno una striscia, ed assorbe una parte del verde: il suo SPETTRO

D'ASSORBIMENTO, vale a dire ciò che resta dello spettro solare dopo aver attraversato un vetro siffatto, è rappresentato dal n. 8 della Tavola. Se si sovrappongono due vetri, uno rosso ed uno verde convenientemente scelti, si forma un sistema opaco per ogni luce, poichè i raggi che passano attraverso ad uno di essi non sono trasmessi dall'altro. Così resta chiarito che una sostanza per certi raggi, può essere diafana, per certi altri invece opaca: il vetro di cobalto suddetto è opaco per la luce gialla del vapore incandescente del sodio. Ma se le radiazioni assorbite vengono estinte come luce, non sono però distrutte: esse si trasformano in energia termica, come prova il riscaldamento del corpo che le assorbe, ovvero in altre specie di energie. Se si espongono al sole due termometri identici, uno dei quali abbia il bulbo affumicato e l'altro coperto di biacca, il primo salirà più del secondo, perchè questo riflette il calore luminoso; invece arriveranno alla stessa temperatura, quando siano esposti ai raggi d'una stufa, perchè entrambi assorbono il calore oscuro.

Questi fatti si esprimono più concisamente col linguaggio dell'analisi: consideriamo la trasmissione della luce attraverso ai corpi trasparenti, ed immaginiamo che su una lastra cada una quantità q di luce monocromatica. Si dimostra che la quantità q' di luce trasmessa è data dalla relazione:

$$q' = q\, e^{-ax} = \frac{q}{e^{ax}}, \qquad (1)$$

nella quale e indica la base dei logaritmi neperiani, a il coefficiente di assorbimento della lastra per la data luce, x lo spessore della lastra.

La formola dice, che *crescendo lo spessore in progressione aritmetica, la quantità di luce trasmessa decresce in progressione geometrica.* Se il coefficiente di assorbimento a è piccolissimo, q' sarà poco minore di q, quando x non è molto grande; ma, come s'è già osservato per il caso dell'acqua, la differenza potrà diventare considerevole quando lo spessore cresce.

La formula suddetta vale qualunque sia la radiazione omogenea considerata: estendiamola quindi al caso di una luce composta.

Il coefficiente di assorbimento di un corpo è diverso rispetto alle varie radiazioni elementari, che compongono la luce composta; onde accadrà in generale che nella luce trasmessa le diverse radiazioni semplici si troveranno in una proporzione diversa che nella luce incidente. Siano q_1, q_2, q_3, ... q_n le quantità delle diverse radiazioni elementari che compongono la luce incidente Q: si abbia cioè,

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \ldots + q_n;$$

applicando la formola (1) alle singole luci omogenee, si ha che la quantità di luce trasmessa sarà,

$$Q' = q_1 e^{-a_1 x} + q_2 e^{-a_2 x} + \ldots + q_n e^{-a_n x}, \qquad (2)$$

dove x indica, al solito, lo spessore della lastra, e a_1, a_2.... a_n sono i correspettivi coefficienti di assorbimento.

Essendo, in generale, questi coefficienti fra loro diversi, si vede che la luce trasmessa avrà diversa composizione della luce incidente. Se essi sono poco diversi tra loro, il cambiamento di composizione della luce trasmessa sarà piccolo, e non si renderà sensibile che attraverso a masse di grande spessore, come per esempio l'atmosfera. Nel caso particolare poi in cui fosse

$$a_1 = a_2 = a_3 = - \ldots - a_n = a,$$

si avrà

$$Q' = Q \cdot e^{-ax};$$

il mezzo è incoloro in tal caso, e la luce trasmessa ha la stessa composizione di quella incidente.

Quando, al contrario, i coefficienti $a_1, a_2, a_3 \ldots a_n$ sono molto diversi tra loro, la differenza tra la luce incidente e la trasmessa sarà assai sensibile, e il corpo costituisce un mezzo colorato.

§ 10. **Termocrosi.** — Estendiamo queste considerazioni ai raggi calorifici oscuri, poichè la formola fondamentale (1) e però la (2) che ne è una conseguenza, valgono qualunque sia la radiazione che si considera. Può accadere che sostanze perfettamente trasparenti, e quindi incolore pei raggi luminosi, siano invece opache, o, come si dice, ATERMANE per alcuni raggi oscuri. Questo fatto può verificarsi comodamente colla pila termoelettrica, determinando la deviazione prodotta dai raggi inviati direttamente ad essa da una sorgente raggiante, e tornando a determinare la deviazione dopo aver frapposto una lastra del corpo preso in esame. La seconda deviazione è minore della prima in causa dell'energia riflessa sulle facce e di quella assorbita: ad ogni modo il rapporto $\frac{I'}{I}$ dell'intensità delle correnti misurate col galvanometro, rappresenterà la proporzione del calore trasmesso, ove si trascuri l'effetto dovuto alla riflessione, che è piccolo se l'incidenza del fascio è normale. Dalle cose sin quì esposte si capisce che il detto rapporto deve cangiare: 1.° colla composizione del fascio incidente, vale a dire colle sorgenti calorifiche adoperate; 2.° colla natura della sostanza interposta, poichè i coefficienti di assorbimento cangiano con essa; 3.° collo spessore x; 4.° la composizione del fascio primitivo sarà alterata, poichè ciascuna delle radiazioni che lo compongono sarà diminuita in proporzioni differenti. Melloni, a cui si devono gli studi più diligenti in proposito, prese sorgenti diverse come la lampada di Locatelli, una spirale di platino resa incandescente da una fiamma a spirito, una lamina di rame annerita scaldata a 400° da una fiamma ad alcool, infine un cubo pieno d'acqua mantenuta in ebollizione. Supponendo il fascio incidente uguale a 100, i numeri della tavola seguente esprimono l'intensità di tal fascio ridotta dall'assorbimento della lamina e dalle riflessioni sulle facce d'incidenza e di emergenza. Se si volesse correggere tali numeri per l'effetto di dette riflessioni, bisognerebbe moltiplicarli per $\frac{100}{90}$ circa.

	Lampada di Locatelli	Platino incandescente	Rame a 400°	Cubo a 100°
Raggiamento diretto. . .	100	100	100	100
Sal gemma.	92	92	92	92
Fluoruro di calcio	78	69	42	33
Spato d'Islanda.	39	28	6	0
Vetro da specchi	39	24	6	0
Cristallo di rocca.	37	28	6	0
Acido citrico	11	2	0	0
Allume	9	2	0	0
Ghiaccio	6	0	0	0

Si apprende da questa tavola che le radiazioni emesse dalle diverse sorgenti sono inegualmente trasmesse e per conseguenza diversamente composte. Si vede infatti che i raggi emessi dal rame a 400° e dal cubo a 100° sono assorbiti in maggiore proporzione di quelli della lampada di Locatelli e del platino incandescente: ciò è chiaro poichè i primi sono esclusivamente composti di radiazioni oscure, mentre i secondi contengono raggi calorifici luminosi e raggi oscuri sovrapposti. L'allume estingue assolutamente tutti i raggi oscuri, poichè assorbe in totalità quelli emessi dal rame a 400° e dal cubo a 100°; delle altre due sorgenti esso in conseguenza lascia passare soltanto il calore luminoso. Ora siccome per queste due sorgenti la proporzione del fascio trasmesso è uguale rispettivamente a 0,09 e 0,02, si deve concludere che il fascio totale non contenga che 0,09 e 0,02 di calor luminoso, ossia che esso è quasi totalmente composto di raggi oscuri.

La medesima tavola ci mostra che diverse sostanze estinguono inegualmente una stessa radiazione, il che prova che i coefficienti di assorbimento sono differenti nei diversi corpi. Non vi ha che una sola sostanza, il sal-

gemma, che pare perfettamente trasparente per ogni specie di raggi calorifici, ossia quasi perfettamente DIATERMANA: è per questo che nello studio del calore raggiante, quando si voglia studiare ciascuna radiazione alla volta, si adoperano, per ottenere lo spettro, un prisma ed una lente di salgemma.

Producendo un tale spettro, si verificò colla pila lineare che un corpo trasparente ed incoloro per l'occhio lascia altresì passare la totalità dell'energia termica che riceve dai raggi luminosi; cosicchè, rispetto a questi, si comportano ugualmente e vetro ed allume, ed acqua e salgemma, ecc. Le differenze si manifestano solo pei raggi oscuri meno rifrangibili del rosso: essi costituiscono uno spettro molto esteso, e differiscono gli uni dagli altri non solo per la diversa rifrangibilità, ma anche perchè attraversano in vario grado le diverse sostanze. Presentano cioè le stesse differenze che i raggi luminosi manifestano coi colori, e però Melloni ha chiamato TERMOCROSI questa specie di colorazione dei raggi oscuri.

Il vetro lascia passare solamente i raggi oscuri vicini al rosso e assorbe gli altri meno rifrangibili, pei quali è perfettamente atermano. È su questa proprietà che è fondato l'uso dei vetri nei tepidari e nelle serre: i raggi luminosi solari passando attraverso ai vetri riscaldano i corpi, i quali emettono poi raggi calorifici che non possono più ritornare all'esterno, cosicchè il calore resta, per modo di dire, immagazzinato. Il ghiaccio è quasi completamente atermano pei raggi oscuri: la soluzione di iodio nel solfuro di carbonio presenta il fenomeno opposto, ossia è completamente opaca per la luce e in sommo grado diatermana: su questa proprietà si fonda una interessante esperienza di Tyndall. Egli faceva entrare in una camera buia un fascio di raggi solari o di una lampada elettrica resi paralleli, e sul loro cammino poneva un palloncino ripieno della soluzione. I raggi luminosi erano completamente estinti; quelli calorifici invece attraversavano rifrangendosi la soluzione, e convergevano nel fuoco

del palloncino, che agiva come una lente biconvessa: il calore del fuoco era sufficiente a portare all'incandescenza una laminetta di platino. In tale esperienza succede che le radiazioni oscure assorbite dal platino vengono emesse come luce: esse pertanto sono innalzate nel grado di rifrangibilità, poichè da calorifiche sono trasformate in luminose: Tyndall diede al fenomeno il nome di CALORESCENZA. Al fuoco suddetto dei raggi oscuri del tutto invisibile, dove tali effetti sono prodotti, l'aria invece è fredda, poichè essendo essa perfettamente diatermana pel calore raggiante, non v'è nè assorbimento nè riscaldamento.

Tyndall e Magnus hanno studiato con diligenza la propagazione del calore raggiante attraverso ai gas: dalle loro esperienze si conclude che questi sono diatermani, quando hanno la loro temperatura critica molto bassa, ossia quando si liquefanno difficilmente, come l'aria, l'ossigeno, l'azoto, l'idrogeno ecc.: gli altri gas invece lo sono in grado minore. Il vapor d'acqua poi ha sui raggi oscuri un potere assorbente non trascurabile.

Se la retina nostra fosse sensibile ai raggi di tutte le rifrangibilità, i vari corpi che sembrano ugualmente oscuri al di sotto di 500°, apparirebbero diversamente colorati in ragione dei loro spettri calorifici più o meno estesi, e i corpi diafani ed incolori acquisterebbero tinte svariatissime.

Ritornando ora alle conseguenze che si desumono dalle formule e dalle esperienze dette, notiamo ancora che per le sostanze trasparenti, diverse dal salgemma, le radiazioni oscure finiscono per estinguersi quando lo spessore aumenta, e che le intensità relative delle radiazioni elementari sono nel fascio trasmesso mutate; cosicchè questo conterrà relativamente meno calore oscuro e più calore luminoso, e si trasmetterà meglio attraverso l'allume, il vetro, ecc. Così, per esempio, interponendo sul cammino d'un fascio calorifico una lamina di vetro e misurandone la proporzione trasmessa, se si di-

rige poi il fascio sopra una seconda lamina uguale alla prima, si trova che la diminuzione dell'intensità è relativamente minore: continuando la medesima azione attraverso più vetri sucessivi, ne verrà che l'ultimo lascierà passare, nella quasi totalità, le radiazioni che riceve dalle precedenti.

Una lastra di salgemma annerita non trasmette che le radiazioni oscure e l'allume le estingue: per conseguenza se si sovrappongono queste due sostanze si ha un sistema completamente atermano.

In generale se due sostanze sono poste l'una dopo l'altra e hanno una *termocrosi* identica, la seconda sarà attraversata dalle radiazioni che avranno attraversato la prima; ma essa al contrario le arresterà, se le due termocrosi sono opposte.

§ 11. Ipotesi sulla natura della luce. — Noi abbiamo finora parlato della luce, come della causa in genere, che, eccitando la retina desta in noi la sensazione della visione: vediamo ora quali siano le ipotesi fatte intorno alla sua natura. Una è l'ipotesi della EMISSIONE dovuta a Newton, e l'altra è quella delle ONDULAZIONI dovuta a Huygens. (1) Ambedue sono concordi nell'ammettere che, affinchè l'esistenza degli oggetti ci sia rivelata mediante la visione, anche attraverso al vuoto, occorre l'intervento di un agente speciale, diverso dalla materia ponderale e interposto nello spazio fra il nostro occhio e l'oggetto. La differenza essenziale fra queste due ipotesi sta nel diverso modo di ideare e di rappresentare il movimento di questa materia imponderabile. L'ipotesi della emissione farebbe consistere la luce in una infinità di particelle elastiche ed estremamente piccole, lanciate in tutte le direzioni, con velocità grandissima, dalla sorgente luminosa, come un bombardamento di piccolissimi proiettili che attraversano il vuoto, penetrano nei diversi mezzi, si riflettono alla loro superficie in conformità alla legge dell'urto dei corpi elastici, e finalmente arrivano al nostro occhio, lo attraversano e vanno col loro urto ad eccitare la retina. Questa ipotesi si presta assai bene alla spiegazione della propagazione rettilinea della luce: difatti tali particelle imponderabili, animate da una velocità grandissima devono per inerzia percorrere traiettorie rettilinee. Secondo questa ipotesi un raggio sarebbe costituito da una serie infinita di atomi luminosi emessi dalla sorgente; la direzione e la velocità del loro movimento di traslazione sarebbe la stessa cosa che la direzione e la velocità della luce, la quale è di 300 mila Km. al minuto secondo. In questa ipotesi la sorgente di luce, circondata da un mezzo supposto omogeneo, proietta i detti atomi luminosi in tutti i sensi e in quantità sufficiente, affinchè in un piccolo angolo solido avente il suo vertice nel punto luminoso, il numero degli atomi di luce inviati durante un tempo brevissimo sia proporzionale al detto angolo. Le particelle luminose emesse dalla sorgente all'origine del tempo, occupano nel tempo t la superficie d'una sfera descritta da questo punto come centro con un raggio $v\,t$, e sono uniformemente distribuite su questa superficie sferica.

A spiegare poi i diversi colori, Newton ammetteva che i corpuscoli luminosi avessero varie grandezze, e quindi destassero sensazioni diverse: ed a spiegare la rifrazione, egli aveva dovuto complicare la sua ipotesi, dotando di polarità gli atomi luminosi e ammettendo che le sostanze ponderali potessero esercitare su essi delle azioni attrattive. Da ciò derivava che la luce dovesse propagarsi con maggiore velocità nell'acqua che nell'aria. La teoria delle ondulazioni conduce invece al risultato opposto, vale a dire che la luce, debba propagarsi più ve-

(1) Fu nel 1690 che Huygens pubblicò il suo TRATTATO DELLA LUCE dove si trova esposta la concezione dell'etere luminoso, colle conseguenze relative alla propagazione delle onde.

Nel 1704 comparve la prima edizione dell'OTTICA di Newton, nella quale egli espose il sistema dell'emissione applicandolo ai fenomeni allora conosciuti.

locemente nell'aria che nell'acqua. Ora le esperienze di Foucault, eseguite in seguito ai consigli di Arago, dimostrarono colla massima evidenza che la velocità nell'aria è maggiore che nell'acqua, cosicchè la teoria di Newton, essendo in contraddizione coi fatti, venne definitivamente abbandonata.

Huygens fu il primo a ideare nettamente la ipotesi delle ondulazioni, una delle maggiori concezioni scientifiche, che sostenuta da Eulero sino dal tempo di Newton, e di poi da Young, da Fresnell, è oggi universalmente accettata dai fisici. — Secondo questa teoria la luce non consiste in una proiezione di particelle materiali, ma in un moto vibratorio rapidissimo delle molecole e degli atomi della sorgente luminosa, il quale si propaga per onde con grandissima velocità (la velocità della luce) nell'etere cosmico: s'immagina che questa sostanza, estremamente rara e dotata di una perfetta elasticità, riempia tutto lo spazio, e sia tra i soli come fra le molecole de' corpi.

La teoria delle ondulazioni di Huygens venne più tardi completata dal principio delle interferenze, scoperto cento anni dopo la morte di Newton, dal celebre Thomas Young. Tra gli anni 1815 e 1827 comparvero poi le classiche memorie di Fresnell, il quale colla scorta della teoria delle ondulazioni e del principio delle interferenze non solo spiegò in modo completo i fenomeni conosciuti già da tempo, ma ancora quelli della DIFFRAZIONE, della DOPPIA RIFRAZIONE, della POLARIZZAZIONE, ecc.: tali geniali e poderosi lavori diedero l'ultimo crollo all'ipotesi dell'emissione.

Questa breve istoria delle teorie che per tanti anni si disputarono il campo per spiegare la natura della luce, ci apprendono l'immenso lavoro intellettuale necessario a stabilire su solide basi la verità delle cose, e non sono fuori di luogo in questo libro dove, trattandosi dei raggi del Röntgen, vedremo tante idee diverse messe innanzi a spiegarne la natura, senza che per ora si sia riusciti a fare luce piena sull'argomento.

Ma torniamo alla teoria delle ondulazioni: secondo essa la luce consiste dunque in vibrazioni rapidissime delle molecole e degli atomi dei corpi luminosi trasmesse per mezzo dell'etere, con grandissima velocità, ai punti lontani: sono queste vibrazioni eteree, che giungendo nel nostro occhio vi eccitano la retina e producono la sensazione della visione. Il fenomeno poi dell'interferenza luminosa, cioè che luce aggiunta a luce, in certe condizioni, come prima osservò il Padre Grimaldi, produce oscurità, mentre era inesplicabile coll'ipotesi dell'emissione, è una naturale conseguenza, come vedremo, della teoria delle ondulazioni.

Inoltre la teoria di Huygens si accorda colla teoria dinamica del calore: secondo questa il calore di un corpo altro non è che la somma delle forze vive delle sue molecole, incessantemente animate da rapidi moti di vibrazione, che aumentando colla temperatura saranno grandissimi nei corpi luminosi. Ricordiamo a tale proposito l'esempio del filo di platino interposto nel circuito di una corrente elettrica, la cui intensità può essere regolata a piacere con un *reostata:* il filo splenderà prima di un rosso cupo verso i 500°, poi d'un rosso più vivo finchè diventerà incandescente a 1500° circa, ed allora analizzando la sua radiazione con un prisma si avrà lo spettro completo; ma intanto coll'aumentare delle radiazioni luminose, anche le oscure, lungi dall'estinguersi, si fanno più intense.

Pertanto il primo effetto della corrente è quello di aumentare l'ampiezza delle vibrazioni molecolari preesistenti; ma nel tempo stesso che essa rende queste più intense, sviluppa delle nuove vibrazioni più rapide a mano a mano che la temperatura aumenta, e il filo passa per tutte quelle variazioni che si son dette. Ne viene che ai raggi violetti debba corrispondere un periodo di vibrazione più breve di quello dei raggi rossi; questi a loro volta avranno un periodo più rapido che non i raggi oscuri. Ora è facile intendere come le vibrazioni degli atomi e delle molecole dei corpi caldi destino nell'etere che le

circonda delle ondulazioni, che si propagheranno tutto all'intorno, come le oscillazioni dei corpi elastici si propagano nell'aria sotto forma di onde sonore.

E poichè l'etere non prova alcuna soluzione di continuità, così quelle onde giungendo alla nostra retina vi provocano un eccitamento che è la causa della visione.

La sensazione della luce si riduce così, come quella dei suoni, ad una comunicazione di movimento. Se poi le onde eteree impressionano i nervi del tatto, ne riceviamo la sensazione del calore; talchè dovremo conchiudere che fra il calore raggiante e la luce la diversità è più soggettiva che obbiettiva. Qualche cosa di analogo succede con un corpo sonoro; il tremore che sentiamo, appoggiando la mano su di un istrumento musicale, è ben diverso dalla sensazione che prova l'orecchio, quantunque la causa sia la stessa. Parimenti è diverso l'effetto che una sorgente luminosa produce sul tatto e sull'occhio: il tepore e la luce sono entrambi dovute alle vibrazioni dell'etere, e la diversa sensazione dipende dalla diversità dell'organo eccitato.

L'oscurità può allora definirsi l'etere in riposo, e la luce l'etere in movimento; ma l'etere in realtà non è mai in riposo, poichè in assenza delle onde luminose si hanno le onde di calore, le quali si propagano senza requie in seno ad esso: nella profondità dello spazio queste due classi di onde si sovrappongono incessantemente, senza confusione, senza giungere ad una estinzione definitiva, e ciascuna stella si mostra attraverso a miriadi di meandri d'onde emesse dalle altre stelle. Questo incessante moto che le lontane stelle eccitano nell'etere cosmico, costituisce la temperatura degli spazi interplanetari.

Per conchiudere, la emissione del calore e della luce operata dai corpi è la comunicazione del moto vibratorio delle loro molecole e dei loro atomi all'etere dello spazio: in questo senso si deve intendere la parola *radiazione*, e la proprietà di emettere radiazioni è comune a tutti i corpi, perchè non ve n' ha alcuno assolutamente freddo.

Ma finchè la temperatura non arriva ad un certo limite, i moti periodici delle molecole e degli atomi sono relativamente troppo lenti e le onde troppo lunghe per affettare l'organo della vista; sono queste le onde di calore oscuro.

Le onde eteree nella loro propagazione possono incontrare le molecole dei corpi e cedere ad esse il loro movimento, allo stesso modo che le onde sonore, date certe condizioni, valgono a porre in movimento, nei fenomeni di risonanza, masse elastiche come corde, diapason, ecc.

L'assorbimento dell'energia raggiante consiste precisamente nel passaggio del moto vibratorio dall'etere alle molecole dei corpi; e, a seconda della costituzione molecolare di questi, si produrranno effetti diversi. E poichè l'assorbimento è diverso per le onde corrispondenti a diversi periodi di vibrazione, così la luce bianca attraversando dei mezzi trasparenti diviene il più delle volte colorata; così anche si spiega la diversa trasparenza dei corpi per le onde calorifiche (*termocrosi*), o per quelle attiniche atte a provocare fenomeni chimici. E a quella guisa che non tutte le oscillazioni de' corpi elastici propagate nell'aria, sono percepite dal nostro orecchio come suono, ma solamente quelle il cui periodo è compreso fra determinati limiti, così l'occhio non percepisce come luce le vibrazioni eteree che sono più di 800 bilioni (8.10^{14}) o meno di 400 bilioni (4.10^{14}) al minuto secondo, a cui rispettivamente corrispondono onde di 38 e 76 milionesimi di centimetro. I corpi le cui molecole vibrano così rapidamente sono appunto i luminosi: le vibrazioni più lente costituiscono il calore raggiante oscuro, le più rapide le radiazioni attiniche.

Quando nel movimento luminoso ciascuna particella d'etere oscilla esattamente nel medesimo tempo e colla stessa velocità su una stessa traiettoria, la luce è detta SEMPLICE, MONOCROMATICA od OMOGENEA, ed il tempo che la particella impiega ad oscillare è detto DURATA O PE-

RIODO di OSCILLAZIONE. Il carattere più saliente che distingue le luci che hanno diverso periodo d'oscillazione, è il colore; del pari la diversa altezza dei suoni dipende dal tempo più o meno lungo che il corpo elastico impiega ad eseguire le sue oscillazioni. La luce emessa dalle diverse sorgenti non è d'ordinario luce semplice, con una durata d'oscillazione costante, ma contiene innumerevoli onde, che presentano una serie di periodi di oscillazione diversi: una luce siffatta è luce composta.

La velocità di propagazione delle onde luminose è eccessivamente grande: essa dipende dalla elasticità e e dalla densità d del mezzo, e propriamente è data dalla relazione

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}}.$$

Essa venne direttamente misurata con varii metodi, e in numeri rotondi se ne può nel vuoto e nell'aria assegnare il valore in 300 milioni di metri al secondo: l'estrema rarezza e la perfetta elasticità attribuita all'etere, si accordano bene con una simile velocità. Le velocità di propagazione dei differenti raggi colorati semplici non differiscono punto tra loro nel vuoto; ma se richiamiamo il fenomeno della dispersione operata dal prisma, per cui essi sono diversamente rifrangibili, crescendo l'indice di rifrazione gradatamente dal rosso al violetto, dovremo conchiudere che nei mezzi trasparenti come l'acqua, il vetro, i raggi di cui la durata d'oscillazione è più breve (i turchini e i violetti) debbano propagarsi più lentamente di quelli aventi una durata d'oscillazione maggiore (raggi gialli e rossi). In grazia di questa differenza di rifrangibilità si è potuto difatti, per mezzo del prisma, operare la separazione dei raggi di diverso colore.

Il modo più facile di rappresentare il movimento delle particelle di etere lungo un raggio luminoso, è quello di far compiere all'estremo superiore A di una funicella AB che penda verticalmente, una serie di oscillazioni; il filo

prende la forma di una linea ondulata rappresentata nella fig. 7 dal tratto punteggiato, poichè il moto oscillatorio si propaga successivamente a tutti i punti della funicella, in guisa che ciascuno compie una ondulazione di egual durata e di eguale ampiezza, coll'unica differenza che la incomincia e quindi la finisce tanto più tardi quanto più lontano si trovi dall'estremo eccitato. Delle onde si propagano lungo la fune, ma le sue particelle restano sempre alla stessa altezza, oscillando innanzi e indietro alla loro posizione naturale di equilibrio. Il caso più semplice è che le loro oscillazioni siano rettilinee, poichè potrebbe anche darsi che, senza uscire da un piano orizzontale, si movessero secondo traiettorie circolari o elittiche, se la mano, invece di eseguire delle oscillazioni pendolari in linea retta, eseguisse delle curve chiuse. Il movimento d'una serie di particelle d'etere, lungo la quale si propaga un raggio luminoso, è del tutto simile a quello dei differenti punti della fune. Ciascuna di dette particelle resta sempre in vicinanza della sua posizione primitiva di equilibrio, e descrive delle traiettorie rette o curve da una parte e dall'altra di questa posizione. Ciò che si propaga sotto il nome di luce non sono le particelle d'etere, ma solamente la forma di onda che esse assumono nel loro movimento.

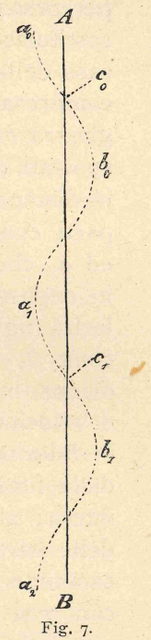


Fig. 7.

Nel movimento luminoso pertanto le vibrazioni dell'etere si effettuano trasversalmente, in un piano perpendicolare alla direzione nella quale si propagano le onde, a differenza di ciò che accade pe' suoni, nei quali le particelle d'aria oscillano longitudinalmente, vale a dire nella direzione che seguono le onde propagandosi. Similmente, se sulla superficie di un'acqua stagnante si lascia cadere un sasso, intorno al centro di perturbazione si forma una serie di onde alternativamente rilevate e depresse, e mentre esse allargandosi si allontanano dal

centro di perturbazione, le particelle dell'acqua non fanno che alzarsi e abbassarsi verticalmente, in senso perpendicolare alla propagazione. Insomma, la propagazione delle onde è la propagazione di una forma, e non v'ha trasporto della sostanza che le costituisce.

LA LUNGHEZZA DELL'ONDA nel caso dell'acqua è la distanza da una cresta alla successiva, mentre lo spazio percorso da ogni particella d'acqua nell'escursione verticale costituisce l'AMPIEZZA DELL'OSCILLAZIONE. Parimenti nel caso della funicella la lunghezza di un'onda sarebbe la $c_0 c_1$ compresa tra due inflessioni consecutive, od anche la lunghezza $b_0 b_1$ che separa due punti che sono ugualmente spostati e dalla stessa parte; o, più generalmente ancora, la distanza che separa due punti corrispondenti su due parti consecutive della linea ondulata. I punti come b_0 ed a_1 che sono distanti mezza lunghezza d'onda, diconsi in OPPOSIZIONE DI FASE, perchè hanno spostamenti e velocità uguali ma di segno contrario: invece due punti come b_0 e b_1, che distano di una intera lunghezza d'onda, diconsi in CONCORDANZA DI FASE, perchè hanno spostamenti e velocità uguali e nello stesso verso. Nel tempo che una ondulazione intera si è propagata da a_0 in a_1, la particella della fune che è in a deve aver compiuto una oscillazione intera; alla stessa guisa, nel tempo di una oscillazione delle particelle d'etere, la luce si sarà propagata per un cammino eguale ad una lunghezza d'onda. Segue che se con v si indica la velocità di propagazione della luce, e con τ il periodo, la lunghezza d'onda λ sarà data dalla relazione:

$$\lambda = v\tau;$$

e se n è il numero delle oscillazioni compiute in 1^s talchè sia $\tau = \frac{1}{n}$, si ha

$$\lambda = \frac{v}{n}.$$

§ 12. **Interferenze.** — Nei mezzi trasparenti le onde appartenenti alle varie luci colorate hanno in generale lunghezze minori che nel vuoto, poichè la velocità v vi è minore. I fenomeni di interferenza permettono di misurare tali lunghezze, e per conseguenza di calcolare la durata d'oscillazione della luce considerata.

L'interferenza della luce si produce in condizioni analoghe all'interferenza dei suoni, quando cioè si sovrappongono in opposizione di fase, e nella stessa direzione o quasi, due sistemi di onde di eguale lunghezza. Supponiamo di eccitare un corpo sonoro, un corista per esempio: l'aria attraverso alla quale il suono si propaga, si divide in ispazi nei quali essa è alternamente condensata e rarefatta. Tali condensazioni e rarefazioni costituiscono le onde del suono. Ora possiamo immaginare che la medesima aria sia attraversata da un'altra serie di onde simili, in modo che le onde condensate dell'una serie coincidano con quelle condensate dell'altra, e le rarefatte con le rarefatte. La conseguenza di questa coincidenza sarà un suono più forte che quello prodotto da uno solo dei due sistemi di onde, presi separatamente. Ma si può anche immaginare che le onde condensate dell'un sistema coincidano nella loro propagazione con quelle rarefatte dell'altro: in tal caso i due sistemi si neutralizzano a vicenda; ciascuno d'essi separatamente produce del suono, ma presi insieme producono il silenzio.

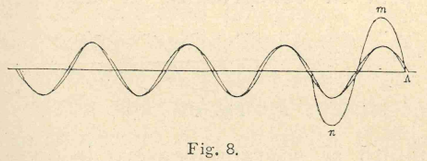


Fig. 8.

Similmente, se getteremo ad un tempo due pietre su di un'acqua tranquilla, si produranno due sistemi di onde circolari, che si taglieranno le une colle altre, aventi per centro i punti di perturbazione. Ora qualunque sia il numero di queste onde, il movimento di ciascuna particella d'acqua sarà la somma algebrica di tutti i movimenti che le sono stati comunicati. Se una cresta coincide con una cresta, un solco con un solco, come indica la fig. 8, i

movimenti si sommano: se al contrario un solco coincide con una cresta (fig. 9), i moti oscillatori sono in opposizione e la loro somma algebrica è zero; si ha allora dell'acqua in riposo. Nello stesso modo può accadere che per la propagazione di due serie di onde nell'etere, questo resti in quiete; allora si produce l'oscurità. L'azione di un moto ondulatorio sull'altro è detta INTERFERENZA.

Per ottenere l'interferenza colla luce, bisogna che i raggi provengano da un'origine comune. Difatti, affinchè un dato punto comparisca oscuro, è necessario che in quel punto i due moti ondulatori si conservino costantemente in opposizione di fase, per tutto il tempo che le immagini persistono sulla retina: e si comprende bene come due sorgenti indipendenti non potrebbero conservarsi in concordanza di fase per un tempo sufficiente.

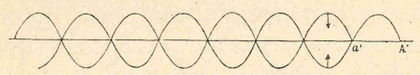


Fig. 9.

Un'altra condizione è che la sorgente abbia piccolissima estensione, poichè se in un punto si sovrapponessero le onde provenienti da coppie di elementi lontani della superficie luminosa, l'oscurità prodotta da una coppia sarebbe compensata dalla illuminazione prodotta da un'altra. Se ordinariamente non si osserva che luce aggiunta a luce produce oscurità, è perchè le due condizioni suddette per l'interferenza non si verificano.

§ 13. **Lunghezza d'onda de' raggi dello spettro solare.** — Nella Fisica si descrivono tanti diversi apparecchi e metodi per ottenere fenomeni d'interferenza, e per misurare esattamente le lunghezze d'onda dei diversi colori, le quali per il rosso e il violetto sono quelle che abbiamo detto: dalla conoscenza di esse si deducono poi i numeri delle vibrazioni corrispondenti alle diverse luci.

Poterono esser determinate anche le lunghezze d'onda dei raggi invisibili: Langley valendosi di un reticolo a riflessione, per produrre lo spettro, ha segnato come limite

dei raggi solari oscuri, che arrivano a noi dopo aver attraversato la nostra atmosfera, una lunghezza d'onda di cm. 0,00027, la quale è più che tripla di quella che spetta alla linea *A* di Fraunhofer. La radiazione più intensa emessa a 100° da una superficie affumicata ha, secondo lo stesso Langley, una lunghezza d'onda di cm. 0,00075. Le più corte onde sonore percepibili sarebbero invece, secondo Savart, di circa cm. 1,4.

Nello spettro solare attinico l'onda più corta venne fotografata da Cornu, ed è la *U* di cm. 0,0000295.

La scintilla elettrica che scocca fra due punte di alluminio, emette onde più corte ancora di queste; la più breve finora avvertita è di cm. 0,0000185.

§ 14. **Fenomeni di diffrazione.** — Supponiamo ora un punto luminoso posto in un mezzo omogeneo, come sono per esempio i gas, i liquidi, i solidi omogenei: esso comunica all'etere circostante delle vibrazioni che si propagano uniformemente e con una medesima velocità in tutte le direzioni, poichè la densità e la elasticità dell'etere sono uniformi in ogni verso. Ne risulta una propagazione sferica dell'onda; ossia la vibrazione che si è prodotta in un dato istante, si è trasportata alla fine del tempo t, o nell'epoca t, sulla superficie di una sfera di raggio vt, e possiede la medesima intensità in ciascun punto.

Ma l'ampiezza d'oscillazione delle particelle vibranti sarà andata diminuendo proporzionatamente all'accrescimento del raggio dell'onda; e poichè l'intensità della luce è proporzionale al quadrato dell'ampiezza d'oscillazione, tale intensità riuscirà di conseguenza inversamente proporzionale al quadrato della distanza dal punto luminoso.

In una simile propagazione del movimento luminoso nello spazio, si chiama SUPERFICIE D'ONDA la superficie formata dall'insieme delle particelle d'etere a cui giunge contemporaneamente un medesimo impulso della sorgente, le quali perciò in ogni istante si trovano nella medesima fase d'oscillazione.

E ricordando che il movimento delle particelle d'etere si fa in un piano perpendicolare al raggio, ne viene che esse vibrano rimanendo sulla superficie dell'onda.

Ci resta d'osservare che nella teoria delle ondulazioni i raggi luminosi non hanno un' esistenza reale; essi non sono che delle direzioni lungo le quali le onde si propagano. Se dunque si tratta di onde sferiche, il raggio luminoso è un raggio delle sfere concentriche, e conserva inalterata la sua direzione, finchè il movimento luminoso si propaga senza ostacoli nello stesso mezzo trasparente. Lungo il raggio non v'è che un moto vibratorio trasversale dell'etere, come s'è detto: quantunque a tutto rigore il movimento dell'etere lungo un raggio sia influenzato dal movimento dei raggi vicini, pure si può in modo approssimativo supporre, che esso si propaghi indipendentemente dagli altri, come se fosse solo.

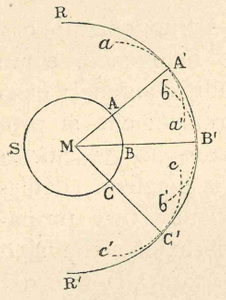


Fig. 10.

Ma diremo subito che tale decomposizione del moto ondulatorio dell' etere in raggi non è più possibile, quando l'onda è costretta di passare per aperture talmente piccole che, rispetto alle loro dimensioni, le lunghezze d'onda non possono più essere ritenute come infinitamente piccole. Una parte della luce si propaga allora lateralmente, e si hanno i fenomeni di DIFFRAZIONE. In generale si può osservare che per diffrazione piccole porzioni di luce deviano dalla linea retta, dovunque essa rada il bordo di corpi opachi.

Quando il moto luminoso della sorgente M (fig. 10) si è propagato alla sfera ABC, ogni punto di questa diventa, è vero, un nuovo centro di propagazione; ma il più delle volte gli effetti di tali centri secondari sopra ciascuna particella, per es. A', si elidono, rimanendo attivo solo quello che proviene dalla vibrazione del punto A, appartenente ad un medesimo raggio.

Più precisamente, l'azione dell'onda ABC su A' si riduce a quella di una zona efficace assai stretta che circonda il punto A; cosicchè si potrebbe senza inconvenienti intercettare il rimanente dell' onda. L' esperienza solo fisserà i limiti che non si devono oltrepassare nel restringere la zona che circonda il punto A, se non si vorrà turbare la propagazione rettilinea della luce coi fenomeni di diffrazione, che si produrrebbero immancabilmente.

La luce ed il suono ci presentano sotto questo rapporto delle differenze notevoli, le quali a tutta prima sembrerebbero inconciliabili fra di loro: così, per esempio, se in una parete opaca, che supporremo anche anelastica, si apre un forellino, e al di là si pone una sorgente luminosa ed una sorgente sonora, l' occhio non vede se non si trova sulla retta che congiunge il foro alla sorgente luminosa, mentre l'orecchio percepisce il suono anche quando ne sia spostato lateralmente. Così pure un corpo opaco, posto sul tragitto dei raggi, impedisce all'occhio di vedere, mentre un corpo anelastico posto fra la sorgente sonora e l'orecchio non impedisce a questo di udire: ma tali differenze, in apparenza tanto considerevoli, si riducono ad una quistione di quantità.

Le lunghezze d'onda della luce sono d'ordinario trascurabili rispetto alle dimensioni dei corpi, e per questa ragione la quasi totalità della luce si propaga in linea retta, e fa d'uopo di apparecchi delicati per constatare i movimenti luminosi laterali, che si producono quando l'onda rade il contorno dei corpi. Le onde sonore, al contrario, hanno lunghezze di parecchi centimetri; e per questo motivo, passando lungo i corpi, si spandono notevolmente in tutti i sensi, come accade delle onde del mare che s'inflettono dietro la punta di uno scoglio.

Per questo non possiamo vedere che in linea retta, mentre possiamo udire intorno a dei coni; per questo l'occhio può stabilire la posizione della sorgente, e l'orecchio non può farlo che assai incompletamente.

È bene dichiarare con alcuni esempi le cose dette. Sia M un punto preso in acqua calma, e che in seguito di una perturbazione produca una serie di onde circolari: la condizione necessaria a produrre tali onde è semplicemente un' oscillazione d' alto in basso, e viceversa, del punto M. Siano ABC la fronte di una di tali onde ad un istante qualunque, e $A'B'C'$, la sua posizione, uno o due secondi più tardi (fig. 10). Ciascuna particella d'acqua, a misura che l'onda passa su essa, oscilla, come sappiamo, in alto e in basso: se pertanto tale oscillazione è una sorgente sufficiente di movimento ondulatorio, ciascuna porzione dell'onda ABC dovrà essere un centro di oscillazione e dare origine a una serie d' onde circolari. Prendendo ciascuna particella dell'onda ABC e descrivendo intorno ad essa un'onda circolare con un raggio uguale alla distanza tra ABC e $A'B'C'$, la riunione di tutte queste piccole onde formerà la grande onda $A'B'C'$, assolutamente come noi la vediamo difatti formarsi.

Supponiamo ora che su una fenditura AB stretta e rettilinea, praticata in direzione verticale in un setto opaco indefinito, arrivi perpendicolarmente una luce monocromatica: *ciascun punto dell' onda, che ricopre la fenditura, è esso stesso il centro d'un nuovo sistema di onde, trasmesse in tutte le direzioni attraverso all' etere che si trova dietro lo schermo:* è questo il principio di Huygens.

Ne seguirà che ciascuna onda non proseguirà soltanto la sua corsa nella direzione perpendicolare, ma divergerà inoltre a dritta ed a sinistra, ripiegandosi lateralmente, e tendendo a mettere in movimento la massa dell'etere al di là della fenditura. Applicando il principio suddetto, si vedrà intanto che nella direzione normale AH, BK (fig. 11), i raggi che formano il fascio trasmesso saranno concordanti; e se accolti nell' occhio, concorreranno a formare sulla retina un'imagine luminosa della fenditura. Consideriamo ora le onde che divergono lateralmente, per esempio nella direzione AM, BN tale che, abbassata la perpendicolare AD sopra BN, sia $BD = \lambda$,

eguale cioè ad una lunghezza dell' onda che caratterizza la luce considerata.

Allora i vari punti sulla AD vibreranno con fasi diverse: il punto di mezzo E, essendo $CE = \frac{\lambda}{2}$, si troverà in opposizione di fase col punto marginale A, e del pari la vibrazione di ciascun punto del tratto AE succederà in opposizione di fase con quella dei punti corrispondenti

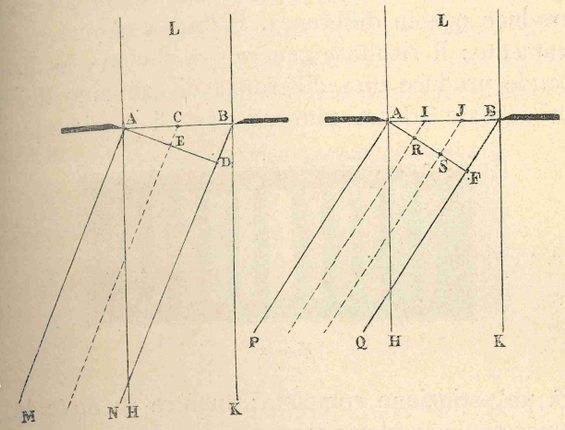


Fig. 11.

presi su ED. Dunque i loro effetti si elideranno per interferenza, e sulla retina si formerà in quella direzione un'imagine oscura della fenditura.

Al contrario, nella direzione AP, BQ per la quale, i raggi estremi hanno una differenza di cammino

$$BF = \frac{3}{2}\lambda$$

vi sarà luce; perchè, se s'imagina divisa la larghezza della fenditura in tre parti uguali, due di esse si compensano e la terza sarà solo efficace. Per conseguenza in questa direzione obliqua, che produce una differenza di cammino di tre semiondulazioni tra i raggi marginali,

si ha una seconda imagine luminosa, ma d'una intensità considerevolmente inferiore a quella centrale non *diffratta*.

Con una differenza marginale dei cammini percorsi eguale a quattro semiondulazioni, si produce una seconda estinzione del fascio intero, perchè in tal caso esso può essere diviso in quattro parti, che prese a due a due si estinguono l'una con l'altra: un secondo spazio oscuro corrisponderà per conseguenza sulla retina all'obliquità che produce questa differenza. Si può continuare così indefinitamente: il risultato generale è che ove la direzione delle onde produce una differenza di cammino dei raggi estremi eguale ad un numero pari di semi-ondulazioni,

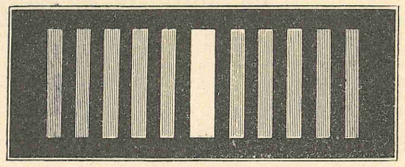


Fig. 12.

si avrà un'estinzione completa; mentre là dove la differenza marginale suddetta corrisponde ad un numero impari di semiondulazioni, si avrà un'estinzione parziale, poichè una porzione del fascio resta sotto forma di striscia luminosa. Dall'altra parte della fenditura, le cose succedono in modo simmetrico come mostra la fig. 12.

Una maniera assai semplice di osservare queste FRANGIE DI DIFFRAZIONE è quella di illuminare una fenditura con una luce monocromatica, interponendo un vetro colorato sul cammino de' raggi, e di osservarla, ad una certa distanza, attraverso ad un'altra fenditura parallela alla prima. Se in luogo di riguardare ad occhio nudo, si osserva la prima fenditura attraverso la seconda coll'occhio armato di un cannocchiale convenientemente aggiustato, gli effetti sono ampliati e resi molto più brillanti. Cambiando il colore della luce, il fenomero resta immutato; solamente i rettangoli che si ottengono sono tanto più stretti e tanto più serrati l'uno contro l'altro, quanto più la luce adoperata è rifrangibile, come mostra la fig. 13.

È evidente difatti che più l'onda è corta, e minore sarà l'obliquità che bisogna per produrre il ritardo necessario. I massimi e minimi della luce violetta devono pertanto essere più vicini all'imagine centrale, che i massimi e minimi della luce rossa: quelli degli altri colori prendono il posto tra questi estremi.

Se per conseguenza è della luce bianca che passa attraverso la fenditura, i diversi colori non saranno sovrapposti, e in luogo d'una serie di frangie monocromatiche, separate le une dalle altre da intervalli oscuri, si avrà una serie di spettri colorati posti a fianco l'uno dell'altro.

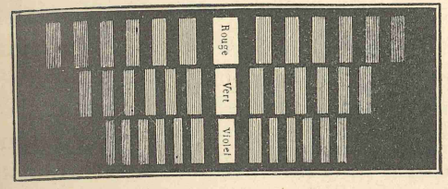


Fig. 13.

Gli effetti ottenuti possono variare all'infinito, se si fanno variare convenientemente le dimensioni, la forma e il numero delle aperture attraverso le quali si osserva un punto luminoso.

Interessante è il fenomeno quando invece di una sola fenditura, se ne ha una serie, tutte parallele ed equidistanti, le quali costituiscono un reticolo di Fraunhofer: non possiamo entrare in tali particolari, ma vogliamo notare che le lampade elettriche, osservate attraverso alla stoffa di un paracqua, mostrano dei fenomeni di diffrazione, e che l'iridiscenza di certe nubi è anch'essa un effetto di diffrazione. Si può imitare questo fenomeno, cospargendo di polvere di licopodio una lastra di vetro, e guardando attraverso ad essa un punto luminoso.

§ 15. **Polarizzazione della luce.** — Ritornando ora alle vibrazioni delle particelle d'etere lungo un raggio luminoso, di cui l'imagine c'è fornita, come s'è detto, dalle oscillazioni delle particelle di una fune (fig. 7), lungo la quale si propaghi una serie di onde, aggiungeremo che potranno darsi casi diversi. Potrà accadere che le particelle vibranti dell'etere descrivano delle linee rette orientate tutte nel medesimo verso; la luce è detta allora POLARIZZATA RETTILINEAMENTE: se la loro traiettoria è invece circolare o ellittica, la polarizzazione risulta CIRCOLARE O ELLITTICA, e il movimento di rotazione potrà effettuarsi in un verso o nell'altro. Due raggi polarizzati in linea retta, le cui vibrazioni siano perpendicolari l'una all'altra, sono detti POLARIZZATI AD ANGOLO RETTO. Le vibrazioni trasversali che costituiscono la luce naturale, come quella che è emessa dai corpi luminosi, si compiono invece in tutte le direzioni possibili, tangenti alla superficie dell'onda.

Queste verità risultano da un insieme complesso di fatti, dei quali dovremo limitarci a fare qui soltanto un cenno.

I due elementi della rapidità di propagazione della luce, e lo stesso si dica del suono, sono l'elasticità e la densità del mezzo, come esprime la formola del § 11. L'enorme velocità della luce nello spazio stellare si spiega col fatto che l'etere ha una densità infinitamente piccola, ed una elasticità grandissima. Nell'etere libero, cioè nel vuoto di materia ponderabile, la luce di tutte le lunghezze d'onda ha sempre la medesima velocità; ma l'ha diversa nei corpi trasparenti, e la ragione non può essere che un'azione esercitata dalle particelle ponderali sull'etere, la quale deve produrre effetti diversi a seconda delle varie lunghezze d'onda, come lo prova il fenomeno della dispersione. Nei corpi omogenei e in quelli cristallizzati nel sistema monometrico, la densità e la elasticità dell'etere è la stessa in tutti i punti di un medesimo corpo; varia soltanto dall'uno all'altro, onde il diverso loro potere rifrangente. Ma nei corpi cristallizzati negli altri sistemi,

l'etere possiede densità differenti nelle diverse direzioni, e la conseguenza è che essi trasmettono la luce con velocità diversa nelle diverse direzioni. E poichè la rifrazione dipende interamente dal cangiamento di velocità all'entrata nel mezzo rifrangente, e cresce laddove la variazione di velocità è maggiore, accade per molti cristalli che un raggio di luce si divida in due: questo fenomeno è quello della DOPPIA RIFRAZIONE. Nell'acqua ordinaria, per esempio, non v'ha nulla nella distribuzione molecolare che possa alterare la perfetta omogeneità dell'etere; ma quando l'acqua è cristallizzata in ghiaccio, la cosa è diversa. In una lastra di ghiaccio, l'elasticità dell'etere in una direzione normale alla superficie di congelazione è differente da quella che è nella direzione parallela alla detta superficie: il ghiaccio ha quindi una doppia rifrazione.

La doppia rifrazione si verifica in modo cospicuo nello spato d'Islanda, che è del carbonato di calcio cristallizzato: la differenza della distribuzione dell'etere nella direzione dell'asse cristallografico e nelle direzioni perpendicolari a questo è così diversa, che la separazione del raggio incidente in due metà è considerevole. Ricordiamo che le vibrazioni dell'etere sono trasversali, e che l'elasticità che importa considerare nella propagazione di ogni raggio è quella che si desta ad angolo retto colla direzione di propagazione. Nello spato d'Islanda v'ha una direzione attorno della quale le molecole cristalline sono simmetricamente distribuite: questa direzione si chiama l'ASSE DEL CRISTALLO. In conseguenza di tale simmetria l'etere è uniformemente distribuito in ciascun piano perpendicolare all'asse, e quindi è sempre la stessa l'elasticità destatavi da uno spostamento comunque diretto in quei piani. Ciò essendo, la velocità di propagazione lungo l'asse è indipendente dalla orientazione dei moti trasversali, e in conseguenza un raggio trasmesso lungo l'asse non subisce punto la doppia rifrazione. Ma l'elasticità lungo l'asse medesimo è maggiore che nelle direzioni perpendicolari; pertanto ad un sistema d'onde che attraversi il cristallo in

una direzione qualunque, due direzioni di vibrazioni si offrono: vale a dire le particelle dell'etere possono vibrare parallelamente all'asse, o perpendicolarmente ad esso. Tutte e due le vibrazioni succedono difatti, e nascono due sistemi di onde propagate con velocità diverse. La doppia rifrazione è il fenomeno che ne segue: esso fu per la prima volta osservato precisamente nello spato d'Islanda da Erasmo Bartolino, nell'anno 1669.

Quando il cristallo è sfaldato in maniera d'avere gli spigoli tutti eguali, risulta formato da sei rombi uguali, ed è detto romboedro. Una retta xy (fig. 14) che congiunge gli angoli triedri ottusi, è allora egualmente inclinata sui

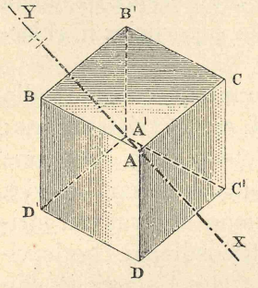


Fig. 14.

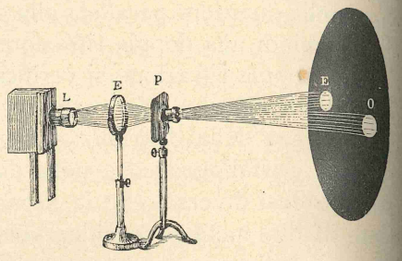


Fig. 15.

tre spigoli: dicesi asse del cristallo ogni retta parallela ad xy, e si chiama SEZIONE PRINCIPALE un piano perpendicolare ad una faccia e avente la direzione dell'asse. Se su di uno spato che abbia la sezione principale, per esempio, orizzontale, si fa cadere normalmente ad una faccia un raggio di luce, all'emergenza si osservano due raggi, uno che si propagherà diritto sulla direzione del raggio incidente, e l'altro che sarà spostato lateralmente. Proiettando col mezzo della lente E (fig. 15) un'imagine di una piccola apertura L, dalla quale la luce cada nello spato P, si vede apparire su d'uno schermo due dischi luminosi E, O, invece di uno.

Dei due raggi nei quali lo spato divide il raggio unico incidente l'uno segue sempre la legge ordinaria della rifrazione della luce, e si chiama per conseguenza RAGGIO ORDINARIO: il suo indice medio è 1,658, ed è quello le cui vibrazioni si fanno perpendicolarmente all'asse e quindi alla sezione principale. L'altro non obbedisce punto alla legge di Snellius; il suo indice non è costante, variando da un massimo 1,658 a un minimo 1,476; inoltre esso non è sempre nel piano dell'incidenza. Questo anzi accade solamente quando il piano dell'incidenza è perpendicolare all'asse, od è una sezione principale. Tale raggio, per conseguenza, è stato detto RAGGIO STRAORDINARIO, e le sue vibrazioni si fanno nel piano della sezione principale.

Rammentando che la velocità di propagazione della luce nel mezzo che si considera è inversamente proporzionale all'indice di rifrazione, potremo asserire che nello spato il raggio straordinario va più veloce che non l'ordinario. In modo consimile allo spato si comportano tutti i cristalli che sono costituiti simmetricamente intorno ad un asse, e perciò sono detti CRISTALLI UNIASSICI: essi appartengono al sistema romboedrico ed al sistema dimetrico, e si distinguono in CRISTALLI NEGATIVI e CRISTALLI POSITIVI, secondo che l'indice ordinario è maggiore o minore del l'indice straordinario.

Nel caso di una lastra di tormalina bruna o verde tagliata parallelamente all'asse del cristallo, il raggio luminoso che cade sulla lastra si divide in due raggi, vibranti l'uno parallelamente, l'altro perpendicolarmente all'asse: ossia l'aggruppamento cristallino delle molecole produce una distribuzione dell'etere tale, che tutte le vibrazioni incidenti si risolvono nelle due vibrazioni ad angolo retto suddette.

Uno di tali raggi, e precisamente l'ordinario, le cui vibrazioni sono perpendicolari all'asse, è rapidamente assorbito dalla tormalina, e quindi estinto; di guisa che da una tormalina esce solamente il raggio straordinario, le cui vibrazioni si fanno parallelamente all'asse: così una tormalina fornisce della luce polarizzata rettilineamente. E in armonia con ciò, se si porrà sul cammino del raggio

emergente una seconda lastra di tormalina simile alla prima e col suo asse parallelo all'asse di questa, la luce traverserà le due lastre (fig. 16); ma se i due assi sono in croce, la luce che passa attraverso alla prima sarà estinta dall'altra, e ne risulterà un'oscurità completa (fig. 17).

Nello spato d'Islanda, come nella tormalina, tutte le vibrazioni della luce sono condotte a farsi in due piani ad angolo retto; ma contrariamente a ciò che ha luogo nella tormalina, lo spato è trasparente per tutti e due i raggi. Ponendo una tormalina innanzi all'apertura *L*

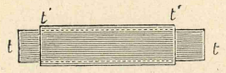


Fig. 16.

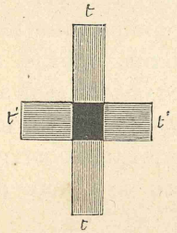


Fig. 17.

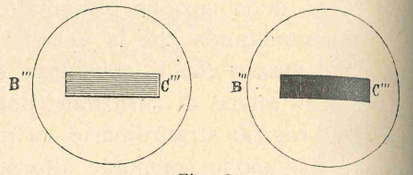


Fig. 18.

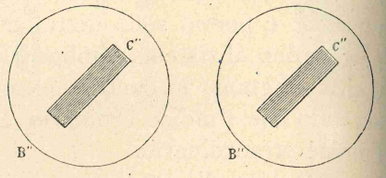


Fig. 19.

della fig. 15 con l'asse orizzontale, invece della luce naturale cadrà sullo spato un raggio polarizzato, nel quale le vibrazioni si effettuano orizzontalmente: pertanto, se la sezione principale dello spato è supposta anch'essa orizzontale, la luce verde sarà trasmessa lungo questa direzione parallela all'asse della tormalina, e mancheranno le vibrazioni ad angolo retto perpendicolari alla sezione principale. Il resultato è che una delle imagini della tormalina mostrerà il colore verde ordinario del cristallo, mentre l'altra imagine sarà nera (fig. 18).

Se la tormalina viene inclinata col suo asse a 45° dalla sezione principale dello spato, le due imagini sono egualmente chiare (fig. 19): difatti allora lo spato riceve delle

vibrazioni, che si scompongono in due componenti ad angolo retto di eguale intensità. Ove poi l'asse del cristallo divenga verticale, l'imagine chiara e quella oscura cangiano di posto, come mostra la fig. 20. Reciprocamente, col mezzo d'una lastra di tormalina si possono determinare le direzioni, secondo le quali le particelle d'etere vibrano nei due raggi forniti dallo spato d'Islanda. Ruotando gradatamente la tormalina, si determinerà la posizione che convenga darle, affinchè un'imagine sia nera e l'altra brillante, e da tale posizione si dedurrà poi la direzione delle vibrazioni.

E in generale ogni polarizzatore, ogni apparecchio cioè atto a polarizzare la luce naturale, può servire anche da analizzatore.

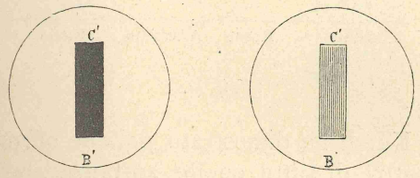


Fig. 20.

La luce si polarizza anche per riflessione alla superficie di corpi trasparenti, come scoperse Malus nel 1803, e per semplice rifrazione. Il raggio riflesso può, se l'incidenza è opportuna, risultare totalmente polarizzato, e le sue vibrazioni si fanno normalmente al piano dell'incidenza; la polarizzazione del raggio rifratto è invece solamente parziale, e le vibrazioni si fanno ad angolo retto con quelle del raggio riflesso.

§ 16. **Dispersione anomala, formule di Helmholtz e di lord Kelvin.** — Ora noi dobbiamo dare un cenno di un altro importante fenomeno, che è quello della DISPERSIONE ANOMALA.

Nel corso de' suoi studi sulla rifrazione dei gas, Le Roux scoprì che il vapore di jodio, il quale ha un potere assorbente considerevole, rifrange più fortemente

il rosso del violetto, contrariamente a ciò che si era osservato sino allora pei corpi trasparenti. Di poi Christiansen riconobbe tale dispersione anomala con la fucsina (rosso di anilina): lo spettro fornito da una soluzione alcoolica molto diluita di detta sostanza, raccolta in un sottilissimo prisma cavo di vetro, è rappresentato dalla fig. 21, dove le linee curve mostrano l'intensità relativa dei colori; il verde manca assolutamente. I due tratti verticali nel violetto indicano l'estensione e la posizione dello spettro completo, ottenuto collo stesso prisma, quando esso conteneva dell'alcool puro. Si vede che lo spettro della fucsina è straordinariamente esteso: l'estremità meno deviata è violetta, indi viene il rosso e finalmente il giallo all'estremità

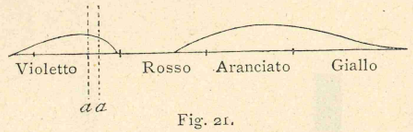


Fig. 21.

più deviata. Kundt ha dimostrato poi che offrono anomalie simili gli spettri di tutte quelle sostanze che hanno COLORI SUPERFICIALI, che cioè hanno un colore diverso secondo che vengono osservate per riflessione o per trasparenza, come per esempio i vari inchiostri di anilina. Così la fucsina solida pare verde, ma un sottile strato ottenuto per evaporazione da una soluzione concentrata della medesima sostanza sopra una lastra di vetro, colora in rosso la luce che l'attraversa. Le soluzioni di tutti questi corpi, anche quando sono diluite, assorbono energicamente tutte quelle luci che mancano nei relativi spettri.

Fra i corpi studiati da Kundt, oltre il bleu, il violetto, il verde di anilina, vi sono la soluzione d'indaco nell'acido solforico, il carminio d'indaco, la murexide disciolta nella potassa, la cianina, il permanganato di potassio, ecc.

Le osservazioni erano fatte col metodo di due prismi incrociati: se due prismi possiedono una dispersione regolare, lo spettro che essi forniscono, quando i raggi dispersi dal primo cadono sul secondo, che ha l'angolo rifrangente in direzione normale al primo, sarà più o meno inflesso, ma continuo; al contrario se uno dei prismi presenta la dispersione anomala, si osserverà uno spettro irregolare solcato da fascie d'assorbimento e inflesse ora in un senso ed ora in un altro, secondo la variazione anomala degli indici.

La fig. 22 relativa a una soluzione di permanganato di potassio, mostra cinque fascie d'assorbimento nel verde; lo spettro è inflesso in senso contrario alle sue due estremità HG e DB.

Fig. 22.

In generale i corpi rifrangono tanto più

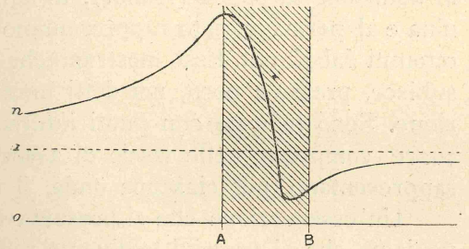


Fig. 23.

i raggi per cui sono trasparenti, quanto più questi sono prodotti da un maggior numero di vibrazioni; così, per esempio, il vetro, l'acqua, rifrangono più la luce violetta che la luce rossa. Ma non succede la stessa cosa quando i corpi, invece di trasmetterle, assorbono le radiazioni incidenti: i fenomeni della dispersione anomala qui sopra ricordati ne sono una prova.

Dunque in una regione dello spettro dove si trova una fascia di assorbimento, la curva che figura le variazioni dell'indice di rifrazione di un corpo in funzione della lunghezza d'onda, non conserva più l'andamento regolare, senza punti di inflessione, che è proprio dei corpi trasparenti: tale curva invece presenta nella detta regione una specie di sinuosità, come quella della fig. 23, la quale indica che l'assorbimento modifica la velocità di

propagazione, e dà un'idea della variazione dell'indice in un corpo assorbente, la frequenza di vibrazione aumentando dalla sinistra verso la destra. Tale modificazione della curva degli indici è specialmente netta in certi casi, e parecchi sperimentatori, come si è detto, hanno potuto studiare direttamente siffatta dispersione anomala nel vapore di jodio, nella fucsina, nella cianina, ecc.

La fig. 24 rappresenta alcune curve costrutte da Cotton; esse indicano qualche risultato ottenuto con corpi, dei quali la dispersione anomala è stata studiata in differenti modi. La curva 1 si riferisce alla fucsina colorante una pellicola di collodio (Bloch); la curva 2 alla fucsina in soluzione alcoolica (Kundt): le curve relative alla cianina e al permanganato rappresentano i risultati parimenti ottenuti dal Kundt. Esse mostrano che il valore degli indici subisce, presso a poco, nei detti mezzi la stessa modificazione. Sono indicate con punti interrotti le porzioni delle curve comprese nelle fascie di assorbimento: tali curve rappresentano, per ciascuna onda, il valore dell'indice n.

Un'osservazione che si presenta subito è questa: supponiamo che si esamini le diverse radiazioni andando dal rosso al violetto; allora, quando ci si avvicina a una fascia di assorbimento, la curva si eleva, le ordinate crescono più rapidamente che se si trattasse di un corpo trasparente. Al contrario, quando si parte dal violetto e ci si avvicina ancora ad una di dette fascie, si osserva un decremento dell'indice, più rapido ancora che con un corpo trasparente. V'ha dunque in una banda di assorbimento un massimo e un minimo dell'indice, e sulla curva, fra i due, un punto di inflessione.

Le teorie moderne dell'ottica dovevano, com'è naturale, tener conto di questa perturbazione nell'ordine delle rifrangibilità. Se ne occupò dapprima nelle sue lezioni orali sir G. G. Stokes: di poi Helmholtz (1875) e lord Kelvin (1884), per tacere di altri, hanno fatto particolare oggetto de' loro studi questo interessante fenomeno, ed hanno proposto formule per la dispersione, atte a dare in ogni caso per l'indice di rifrazione, un valore d'accordo

con l'esperienza. Helmholtz suppone che nei corpi trasparenti certe molecole ponderabili partecipino alle vibrazioni dell'etere che le circonda; e per spiegare il fatto dell'assor-

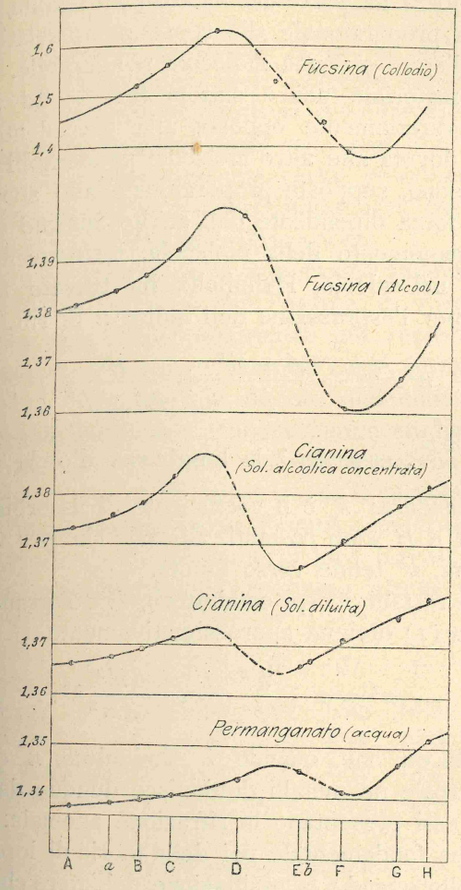


Fig. 24.

bimento della luce, egli ammette che una parte delle vibrazioni comunicate alle molecole ponderabili, si trasforma in vibrazioni irregolari, vale a dire in calore: ciò equivale a supporre che il mezzo ponderabile oppone al movimento

delle molecole vibranti insieme una resistenza analoga all'attrito. Così, nella teoria di Helmholtz, ciascuna molecola d'etere è sottomessa: 1.° alla reazione elastica dell'etere; 2.° a una forza da parte del mezzo ponderabile, la quale è supposta proporzionale allo spostamento relativo di una molecola d'etere e d'una molecola ponderabile. Ciascuna molecola materiale poi è sottoposta: 1.° ad un'azione eguale e direttamente opposta alla precedente; 2.° ad una forza dovuta alle altre molecole ponderabili immobili, se ve ne sono, supposta proporzionale allo spostamento; 3.° a una forza dipendente dall'attrito interno che si oppone al movimento della molecola. Introducendo queste condizioni nel calcolo, Helmholtz ha trovato la formola seguente per l'espressione dell'indice n di rifrazione:

$$n^2 = 1 - \frac{A - k'^2}{p^2} + \frac{B}{p_0^2 - p^2}, \qquad (1)$$

dove $p = \frac{2\pi}{\lambda}$, essendo λ la lunghezza d'onda della luce che si considera; k' è il coefficiente di assorbimento del mezzo; A e B sono costanti. Si vede che per valori di λ piccolissimi, n^2 tende verso l'unità.

Per i metalli (corpi conduttori), k'^2 è grandissimo, e la formula (1) diviene approssimativamente

$$n^2 = 1 + \frac{k'^2}{p^2} = 1 + \frac{k'^2}{4\pi^2}\lambda^2:$$

si vede da qui che, quando λ diminuisce, n diminuisce. L'indice reale ne' metalli diminuisce dunque dal rosso al violetto; essi presentano la rifrazione anomala.

L'idea fondamentale poi della teoria di lord Kelvin è questa: allorquando la oscillazione dell'etere che circonda una molecola, possiede un periodo poco superiore a quello che la molecola stessa può prendere, questa compie oscillazioni di grande ampiezza: l'energia cinetica delle molecole è allora dell'ordine di grandezza di quella dell'etere nel quale esse si muovono, e la velocità di propagazione risulta modificata.

La formola per la dispersione, che lord Kelvin deduce dalla sua teoria, è la seguente:

$$n^2 = 1 - A\,T^2\left(1 + \frac{q_1\,T^2}{\tau_1^2 - T^2} + \frac{q_2\,T^2}{\tau_2^2 - T^2} + \ldots\right), \qquad (2)$$

dove n è l'indice di rifrazione, A, q_1, q_2 delle costanti; τ_1, τ_2... i periodi propri delle molecole assorbenti; T il periodo della vibrazione luminosa considerata. Essa conduce a bande di assorbimento, nelle quali l'indice prende tutti i valori a partire da una certa grandezza positiva sino a zero, ed anche a valori immaginari, che corrispondono all'assenza totale di propagazione.

Le prime ricerche sulla dispersione anomala avevano messo in chiaro soltanto che l'ordine di rifrangibilità è invertito in certi corpi: esperienze più recenti hanno di più provato che l'indice di parecchi corpi, in certe regioni dello spettro, è persino più piccolo dell'unità. Kundt e i suoi discepoli Du Bois e Rubens hanno studiato da questo punto di vista un certo numero di metalli, ed hanno trovato che a misura che si va verso le piccole lunghezze d'onda, l'indice tende verso l'unità, confermando in tal guisa le teorie di Helmholtz e di lord Kelvin.

Nella seguente tavola riferiamo alcuni risultati di Pflüger:

	Li$_\alpha$	*D*	*Tl*	*F*	*Sr*	*G*
Fucsina [1]	2,34	2,64	1,95	1,05	0,83	1,04
Cianina	2,08	1,70	1,20	1,45	1,49	1,61
Rosso di Magdala .	2,06	1,90	1,56	1,54	—	1,72
Violetto d'Hofmann .	2,53	2,20	1,27	0,86	—	1,32

[1] Le lunghezze d'onda corrispondenti a questi raggi sono le seguenti; l'esponente μ vuol dire milionesimo di metro:

Li$_\alpha$ (rosso) . . .	0$^\mu$,671
D	0, 589
Tl (verde)	0, 535
F	0, 486
Sr (bleu)	0, 461
G	0, 434

Queste quattro sostanze possiedono delle fascie di assorbimento ben nette nelle seguenti regioni dello spettro

Fucsina	$0^{\mu},623$
Cianina	0 ,650
Rosso di Magdala . .	0 ,597
Violetto d'Hofmann . .	0 ,660

In tutti questi corpi il passaggio pel minimo è chiaramente indicato.

Lo stesso fenomeno si produce nella regione ultrarossa dello spettro. L'acqua, per esempio, assorbe i raggi calorifici oscuri vicini al rosso cupo estremo: ad un occhio che fosse sensibile alle radiazioni di lunghezza d'onda 2^{μ}, l'acqua parrebbe nera come inchiostro. L'indice di rifrazione dell'acqua per le oscillazioni elettriche (§ 16), che sono molto più lente delle luminose, è compreso fra 8 e 9: è naturale pensare che esso sia l'indice anomalo, vale a dire quello che corrisponde al principio della banda di assorbimento.

§ 17. **Oscillazioni elettriche.** — Fin qui abbiamo studiato le ondulazioni prodotte nell'etere dalle vibrazioni delle molecole e degli atomi dei corpi caldi e luminosi; ma bisogna sapere che tali ondulazioni sono destate nell'etere anche dalle oscillazioni elettriche. Affinchè il movimento dell'elettricità in un conduttore prenda il carattere oscillatorio, bisogna che il conduttore soddisfaccia alla relazione

$$R < \sqrt{\frac{4L}{C}}, \qquad (1)$$

essendo R la resistenza, C la capacità ed L il coefficiente di autoinduzione del conduttore percorso dalla scarica, il quale dipende dalla lunghezza e dalla forma sua: le tre quantità s'intendono espresse in unità elettro-magnetiche.

Quando la resistenza del filo è così piccola che si possa fare, senza sensibile errore, $R = 0$, nel qual caso la condizione suddetta è sempre soddisfatta, gli effetti dell'auto-

induzione sono soli a considerarsi, giacchè la loro influenza è di molto preponderante. La durata dell'oscillazione completa è espressa in tal caso dalla formola

$$T = 2\pi\sqrt{CL}; \qquad (2)$$

le oscillazioni sono isocrone, e si ammortizzano con un coefficiente dato dalla espressione

$$\frac{\pi R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

La scarica di una ordinaria bottiglia di Leyda assume, quando l'arco eccitatore è di trascurabile resistenza, un carattere oscillatorio: in tal caso l'intensità I della corrente cambia di segno periodicamente, compiendo delle oscillazioni isocrone ma di ampiezza decrescente, come è rappresentato dalla curva della fig. 25 segnata con tratto continuo.

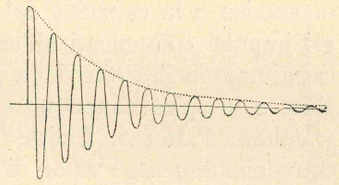


Fig. 25.

Per rendersi ragione di tali oscillazioni bisogna notare che il dielettrico d'un condensatore carico è sottoposto ad una tensione, che si può paragonare a quella di una molla. Se la causa che produce la tensione viene a cessare di un tratto, il dielettrico riprende la sua condizione iniziale, dopo aver effettuato delle oscillazioni comparabili a quelle che compie una molla lasciata assolutamente libera.

Per impedire a questa di oscillare, bisognerebbe opporle una resistenza al movimento, immergendola, per esempio, in un liquido vischioso. Similmente, se si offre una resistenza elettrica sufficiente alla scarica d'un condensatore, essa diventa continua come indica la curva punteggiata della figura precedente: la intensità non muta di segno e decresce gradatamente a zero.

Il periodo delle oscillazioni d'una molla dipende dalla sua massa o dalla sua inerzia; analogamente il periodo della scarica elettrica varia con il coefficiente di autoinduzione, che rappresenta l'inerzia magnetica del mezzo che circonda il conduttore di scarica.

Accrescendo tale coefficiente, si aumenta di più in più la durata del periodo: per raggiungere tale risultato basta far passare la scarica attraverso ad una bobina, di cui il numero delle spire cresce gradatamente. La scintilla che si produce nell'interruzione del circuito pare unica a cagione della rapidità del fenomeno, ma osservandola per riflessione in uno specchio rotante, essa si mostra composta di una successione di punti luminosi.

Quando il coefficiente di autoinduzione del circuito di scarica e la capacità del condensatore sono sufficienti, gli impulsi comunicati all'aria dalle oscillazioni elettriche raggiungono il limite delle vibrazioni percettibili dall'orecchio, e le spire danno un suono di cui si può diminuire a volonta l'altezza. Lodge è pervenuto, facendo variare convenientemente i valori di R, C, L, ad ottenere una gamma di vibrazioni elettriche, di cui i periodi si estendevano da $\frac{1}{100\,000\,000}$ a $\frac{1}{500}$ di secondo.

Maxwell sviluppando le idee di Faraday sull'ufficio del mezzo dielettrico nella trasmissione delle azioni elettriche, giunse alla conclusione che una vibrazione elettrica deve propagarsi nell'aria con una velocità eguale al rapporto che esiste tra l'unità elettromagnetica e l'unità elettrostatica di quantità. Ora l'esperienza insegna che tale rapporto è misurato dallo stesso numero che dà la velocità della luce: tale coincidenza conduce naturalmente a pensare che le azioni elettriche e la luce non solo siano propagate dallo stesso mezzo, ma che esse risultino eziandio da modificazioni della medesima specie di tal mezzo. La verifica sperimentale di queste conseguenze consiste nel mostrare che le oscillazioni elettriche, come quelle che possono risultare dalle correnti alternative o dalle scariche

dei condensatori, danno origine ad onde capaci di interferire. Ma se la velocità di propagazione è quella della luce, vale a dire una velocità di 300 000 km. al secondo, a vibrazioni di $\frac{1}{1000}$ di secondo corrisponderanno lunghezze d'onde di 300 km.; e per avere delle lunghezze d'onda di 3 m. soltanto bisognerebbe che la durata d'oscillazione non oltrepassasse $\frac{1}{100\,000\,000}$ di secondo. Si vede da qui che non è possibile di produrre il fenomeno d'interferenza suddetto, con correnti come quelle fornite dalle dinamo a correnti alternate.

Le oscillazioni che accompagnano la scarica della bottiglia di Leyda, o quelle che si producono ad ogni inter-

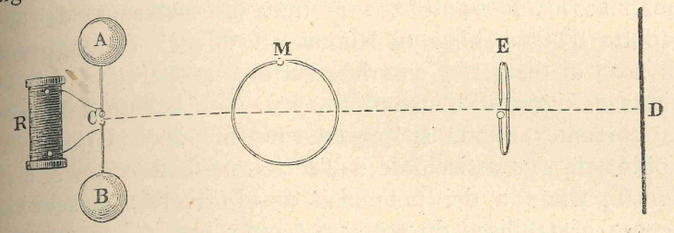


Fig. 26.

ruzione della corrente primaria ai due capi del filo secondario di una bobina di Ruhmkorff, sono molto più rapide, ma di periodo sempre troppo lungo per l'esperienza in discorso.

Si deve ad Hertz il merito di aver imaginato esperienze che permettono d'ottenere oscillazioni elettriche, il cui periodo non oltrepassa guari $\frac{1}{100\,000\,000}$ di secondo, e di essere riuscito a mostrare che tali oscillazioni producono onde capaci di dar luogo a fenomeni di interferenza.

La parte essenziale dell'apparecchio (fig. 26) è una specie di eccitatore formato da due sfere, A, B del diametro di 30^{cm}, distanti circa 1^{m}, ed unite fra loro col mezzo

di un filo metallico di 5^{mm} di diametro, interrotto nel suo mezzo: gli estremi, nella detta interruzione, terminano con due sferette del diametro di 3^{cm}, distanti circa $0^{cm},75$. Supponiamo che si portino bruscamente le due sfere a dei potenziali eguali, ma di segno contrario: se si abbandona il sistema a sè stesso, la scintilla scocca tra i due conduttori e l'equilibrio si stabilisce per mezzo di oscillazioni, di cui la durata è data dalla formula:

$$T = 2\pi\sqrt{CL},$$

la quale è applicabile in questo caso, perchè la resistenza incontrata dalla scarica oscillatoria è trascurabile per rispetto all'autoinduzione.

I due punti dell'interruzione del conduttore, tra i quali scocca la scintilla, sono uniti alle estremità del filo indotto d'una bobina di Ruhmkorff di 50^{cm} di lunghezza di 20^{cm} di diametro, con interruttore a mercurio, ed eccitata da 6 grandi elementi Bunsen. Nell'istante nel quale la corrente indotta si produce nel filo secondario della bobina, le due asticciuole dell'eccitatore colle sfere A e B sono portate a dei potenziali assai diversi; la scintilla scocca e stabilisce durante un tempo brevissimo un passaggio di debole resistenza, attraverso il quale il conduttore rettilineo si scarica su sè stesso in modo indipendente, presso a poco come se fosse separato dalla bobina, e dà luogo a oscillazioni elettriche, essendo soddisfatta la (1). Tali oscillazioni si estinguono prima che l'oscillazione seguente della bobina abbia avuto il tempo di prodursi e di dare origine a nuove oscillazioni. Si può paragonare lo stato dell'eccitatore a quello di una sbarra mantenuta in vibrazione da una serie di colpi cadenzati. La condizione essenziale affinchè il fenomeno accada è pertanto quella che la scintilla di induzione si produca; ma essa deve squarciare l'aria repentinamente, se si vuole che sia oscillatoria. A tale uopo le palline devono essere ben levigate, altrimenti la elettricità sfuggirebbe gradatamente dalle rugosità e le oscillazioni cesserebbero di prodursi;

si trovò anzi utile per produrre la scarica repentina di immergerle nell'olio. Inoltre è bene sapere a tale riguardo che bisogna proteggere il loro intervallo dalla luce di altre scintille, perchè lo stesso Hertz ha scoperto che la luce ultravioletta, di cui esse sono ricche, ha la proprietà di provocare scariche graduali, particolarmente dall'elettrodo negativo.

Se si allontanano le sferette in modo da sopprimere la scintilla, non si hanno più che le oscillazioni proprie della bobina, e queste sono all'incirca 1000 colle più lente di quelle dell'eccitatore.

§ 18. **Propagazione delle oscillazioni elettriche nel mezzo.** — Abbiamo sopra comparato le oscillazioni della scarica elettrica con quelle di un corpo elastico vibrante; il paragone può essere spinto ancora più oltre: se si eccita un diapason, questo produce nell'aria ambiente onde sonore, le quali possono far entrare in vibrazione un altro diapason accordato all'unisono con il primo. Questo secondo diapason è detto RISONATORE. Inoltre se delle onde sonore vengono ad incontrare normalmente una parete solida, esse sono riflesse: le onde incidenti interferiscono colle onde rinviate dalle pareti, e si producono dei nodi e dei ventri fissi di vibrazione che si seguono alternativamente. Il risonatore suddetto resta allora muto nei nodi e accusa fortemente la posizione dei ventri: l'internodo o distanza tra due nodi equivale a mezza lunghezza d'onda, e la velocità di trasmissione delle onde è il quoziente che s'ottiene dividendo una lunghezza d'onda per il periodo.

Fenomeni analoghi si producono, come abbiamo veduto, nella propagazione delle radiazioni luminose e di quelle oscure calorifiche e chimiche, che sono formate da vibrazioni dell'etere trasversali alla direzione del raggio.

Ora Hertz ha dimostrato, con metodi analoghi a quelli ora ricordati, che le oscillazioni elettriche prodotte dal suo ECCITATORE, producono nel mezzo ambiente delle onde

elettriche, di cui le proprietà sono identiche a quelle delle radiazioni emesse dai corpi ad alta temperatura; vale a dire che esse danno luogo a fenomeni di riflessione, di interferenza, di rifrazione, di polarizzazione e diffrazione, del tutto eguali a quelli della luce. Per provarlo, egli si è servito di un risonatore elettrico accordato con l'eccitatore, in modo da esser posto in vibrazione elettrica da questo: è formato da un cerchio fatto con un filo metallico tagliato in un punto, così da lasciare fra le sue estremità una piccola interruzione. Se le sue dimensioni sono opportune, ponendolo vicino all'eccitatore, si vedono delle piccole scintille scoccare nella interruzione. Ripetendo l'esperienza con cerchi metallici di grandezze differenti, si trova una dimensione per la quale la scintilla presenta un massimo ben distinto: è evidente che tale dimensione è quella per la quale le oscillazioni proprie del risonatore hanno il medesimo periodo di quelle dell'eccitatore. Il risonatore impiegato da Hertz era un cerchio di 35^{cm} di diametro: per ben accordare il risonatore con l'eccitatore, si possono spostare le due sfere di questo in modo da mutare tal poco il periodo. D'altronde quando l'eccitatore funziona bene, si possono tirare, in vicinanza di esso, piccole scintille da due pezzi metallici qualunque, come per esempio due monete tenute nelle mani:

Le azioni prodotte dall'eccitatore sono di due specie; le une elettrostatiche, le altre elettromagnetiche. Le azioni elettrostatiche sono dovute alle variazioni alternative del potenziale delle due sfere A e B: le linee di forze vanno dal centro di una sfera a quello dell'altra, esse sono in piani che passano per l'asse dell'eccitatore. Le azioni elettromagnetiche sono dovute alle correnti alternative che, percorrendo il conduttore rettilineo, creano un campo magnetico: le linee di forza, almeno nella parte media, sono circonferenze concentriche con l'asse dell'eccitatore.

Queste due azioni hanno un medesimo periodo, ma poichè le scariche, e quindi le correnti che danno origine all'azione elettromagnetica, non si producono che all'istante

nel quale i potenziali delle due sfere diventano uguali, ne risulta che i massimi dell'azione elettrostatica corrispondono ai minimi dell'azione elettromagnetica.

Tali azioni variano inoltre diversamente colla distanza: l'azione elettrostatica varia in azione inversa del cubo di tale distanza, quella elettromagnetica varia in ragione inversa della semplice distanza; tuttavia la prima ha un'intensità quasi sempre maggiore della seconda.

Supponiamo il risonatore posto col suo centro sulla retta CD (fig. 26) normale all'eccitatore nel suo punto di mezzo, e ad una distanza tale che i due campi siano sensibilmente uniformi. La retta CD è uno de' raggi, secondo i quali si propagano i fenomeni: diremo piano meridiano un piano qualunque che passi per AB e CD. Per il raggio CD il piano delle vibrazioni elettriche è il meridiano, e il piano delle vibrazioni magnetiche è perpendicolare ad esso. Quando il piano del quadro è perpendicolare alle linee di forza del campo elettrostatico, l'azione di questo campo è nulla; essa è al contrario massima, quando il piano del quadro è parallelo a queste linee, ossia è parallelo all'asse dell'eccitatore; ma in tal caso la detta azione dipende dalla posizione dell'interruzione M del risonatore. Dicendo LINEA DI SIMMETRIA del risonatore il diametro che passa per l'interruzione, se la linea di simmetria è parallela al campo, la forza elettrica tende a portare le due estremità del cerchio al medesimo potenziale, e non si hanno scintille all'interruzione; l'azione al contrario sarà massima, quando la linea di simmetria sarà perpendicolare al campo. Quanto all'azione elettromagnetica essa non dipende che dalla variazione del flusso di forza che attraversa il risonatore; ed è sempre la stessa, qualunque sia la posizione della linea di simmetria. L'azione è nulla quando il piano è parallelo al campo magnetico, massima invece quando gli è perpendicolare.

Il risonatore poi è sottratto ad ogni azione dalla parte dell'eccitatore, quando il suo piano coincide col piano di simmetria di quest'ultimo.

Nella fig. 26 il risonatore è disposto in E per rispondere alle onde elettriche, e in M per rispondere a quelle elettromagnetiche.

Riassumendo, se si vuole osservare separatamente l'azione del campo elettrico, si metterà il piano del quadro perpendicolare al raggio, vale a dire parallelo alle onde, e il diametro che passa per l'interruzione perpendicolare al meridiano: per isolare l'azione del campo magnetico, il quadro essendo situato nel piano meridiano, il diametro d'interruzione dovrà esser diretto secondo una perpendicolare al raggio, vale a dire nel piano dell'onda.

Supponiamo ora che si ponga nel campo un piano conduttore D perpendicolare al raggio CD; le onde che si riflettono su questo piano interferiscono con le onde incidenti, come si è detto, e danno luogo a nodi e ventri fissi di vibrazione, analogamente a ciò che accade pe' suoni.

Spostando il risonatore lungo la retta CD, si constatano difatti dei minimi e dei massimi di vibrazione equidistanti, corrispondenti a nodi e a ventri alternati.

L'esperienza era fatta da Hertz in una gran sala, e l'eccitatore era lontano dalla parete metallica una diecina di metri: detta parete era formata da un gran foglio di zinco in comunicazione con il suolo. Tale conduttore essendo impenetrabile alle oscillazioni elettriche, la sua superficie è un nodo: difatti, collocando ivi il risonatore nella posizione E, non si osserva alcuna scintilla. Spostando poi il risonatore parallelamente a se stesso lungo la retta meridiana CD, si trovano dei punti equidistanti di massimi e di minimi, analoghi ai nodi ed ai ventri di una corda vibrante trasversalmente: l'internodo, ossia la distanza di due nodi consecutivi, è la metà dell'onda. Ora la posizione dei nodi essendo determinata dai punti dove il risonatore resta silenzioso, si può conoscere la lunghezza λ dell'onda.

Se si conosce nello stesso tempo il periodo T delle oscillazioni, se ne dedurrà la velocità v di propagazione colla relazione: $\lambda = vt$.

Sperimentando a questo modo, Hertz trovò per la velocità v di propagazione delle onde elettriche un valore molto prossimo alla velocità della luce. A questo punto è bene osservare che il periodo non è definito dall'eccitatore: risulta infatti da esperienze di Sarasin e De la Rive che, usando risonatori di varia grandezza, si trovano con queste esperienze delle diverse lunghezze d'onda, e precisamente quelle che corrispondono ai periodi dei risonatori usati.

La prima spiegazione che si presenta è quella che il vibratore compia delle oscillazioni di tutti i periodi, e che il risonatore risponda a quella vibrazione il cui periodo si accorda con il proprio.

Però secondo Poincaré e Bjerkenes il fenomeno è da ascriversi al grado diverso con cui si smorzano le vibrazioni dell'eccitatore e del risonatore: le oscillazioni del primo si smorzano rapidamente, perchè esse si trasformano in calore e vengono irraggiate nell'etere circostante; le oscillazioni del secondo invece si smorzano assai meno, perchè a cagione della sua forma quasi chiusa irraggia assai poco verso l'esterno. Così dal vibratore partono poche oscillazioni, che saranno come altrettanti impulsi comunicati al risonatore, il quale entrerà in vibrazione e vi si manterrà se gli impulsi incidenti e riflessi sono concordanti. Se invece gli impulsi riflessi lo colgono in opposizione di fase con quelli diretti, le scintille non si mostreranno. Si vede dunque che le distanze dei nodi o dei ventri dalla parete devono dipendere dalle dimensioni del risonatore, e non da quelle del vibratore.

Ricorderemo ora che in realtà si propagano due sistemi di onde: quelle elettriche e quelle elettro-magnetiche. La corrente alternativa indotta nella parete metallica dall'onda elettrica che vi arriva, è in ogni istante opposta allo spostamento elettrico che la suscita, e abbiam veduto che ivi difatti si forma un nodo; il risonatore avente l'orientazione E, se vi è collocato vicinissimo, non dà scintille. Esso invece le dà massime, quando sia allontanato d'un quarto d'onda, perchè ivi gli spostamenti elettrici pro-

dotti dalle onde incidenti, essendo sempre nella stessa fase con quelli riflessi, si forma un ventre di vibrazione elettrica.

Il contrario succede quando il risuonatore ha la posizione *M*, cioè quando è perpendicolare alle linee di forza magnetica, poichè in questo caso nei nodi i flussi magnetici opposti passano per le due faccie del circuito e le loro azioni inducenti si sommano, mentre nei ventri i due flussi di forza magnetica attraversano il circuito dalle due faccie opposte, ed essendo approssimativamente uguali, si compensano.

I nodi dei due sistemi si succederanno così a delle distanze uguali al quarto delle ondulazioni complete, ossia i ventri delle onde elettro-magnetiche coincideranno con i nodi di quelle elettriche; cosicchè con il risonatore nella orientazione *M* si osserveranno le scintille massime precisamente in quei punti ne' quali con la orientazione *E* non si osservava alcuna scintilla.

Nelle esperienze di Hertz la durata della vibrazione era di $1{,}4 \cdot 10^{-8}$ secondi, e la distanza fra due nodi della medesima specie era di $4^{m},5$; ne risulta per la velocità di propagazione il valore $v = 320000$ km. al secondo, vale a dire sensibilmente la velocità della luce.

Per ottenere più nodi nei limiti della sala dove si esperimentava, era necessario di produrre delle onde più corte. Impiegando come vibratore un tubo di ottone di 26^{cm} di lunghezza e di 3^{cm} di diametro, diviso in due parti con le estremità affacciate terminate da calotte sferiche, Hertz in altre esperienze giunse a provocare onde di 30^{cm} di lunghezza soltanto. Il risonatore era formato da un filo retto di 1 metro, diviso egualmente in due parti, e munito di palline metalliche tra le quali avvenivano le scintille.

Le onde elettriche che dal vibratore si propagano nello spazio, s'indeboliscono evidentemente con la distanza; ma disponendo il vibratore nella linea focale di un riflettore parabolico, fatto con una lastra metallica piegata in

cilindro secondo una parabola, le onde riflesse formano un fascio parallelo e però conservano la loro intensità anche a notevole distanza. Questo FASCIO DI RAGGI ELETTRICI cade poi sopra d'un secondo specchio eguale al primo, nella cui linea focale è disposto il risonatore. È l'esperienza dei due specchi coniugati, per mezzo dei quali si ripetono fenomeni analoghi nell'Acustica e nell'Ottica. Uno schermo isolante o semi conduttore, come un muro o una tavola di legno, posto tra i due specchi parabolici non intercetta punto le ondulazioni; ma uno schermo conduttore come una lastra metallica sufficientemente ampia le interrompe, e getta un' ombra dietro di essa. Si è obbligati, come si vede, ad adoperare il linguaggio dell'Ottica.

Non esiste difatti alcun'altra differenza tra i due fenomeni che la lunghezza delle onde: le onde luminose sono un milione di volte circa più corte che le onde elettriche prodotte con gli apparecchi di Hertz. Le ondulazioni elettriche si propagano in linea retta, come lo prova il fatto dell'arresto dei raggi per parte di uno schermo metallico posto fra i due specchi, con gli assi ottici coincidenti. Il modo di produzione delle vibrazioni ci dice che queste sono dirette parallelamente all'asse del vibratore, vale a dire che esse sono trasversali e polarizzate rettilineamente: del resto la cosa si può verificare direttamente con la esperienza. Si faccia girare lo specchio ricevitore attorno del raggio preso come asse, finchè la linea focale del risonatore diventi orizzontale, mentre quella del vibratore è supposta verticale: la scintilla va diminuendo a misura che la inclinazione aumenta, e cessa completamente quando le due linee focali sono in croce, anche quando i due specchi siano vicini. I due specchi si comportano dunque come analizzatore e polarizzatore in Ottica. Se sul cammino del fascio dei raggi si pone normalmente tra i due specchi, supposti con le linee focali parallele, una grata di fili metallici, tesi parallelamente in linea retta a breve distanza, l'effetto è molto differente

secondo che i fili giacciano paralleli o perpendicolari alle dette linee focali. In quest'ultimo caso l'effetto sulla scintilla è nullo; se al contrario i fili sono paralleli alle linee focali de' due specchi, il raggio è completamente intercettato. La grata si comporta dunque rispetto a questi raggi elettrici, come una lastra di tormalina rispetto ai raggi luminosi polarizzati rettilineamente.

Poniamo orizzontalmente la linea focale del secondo specchio: la scintilla non si produce punto quando i fili sono orizzontali o verticali; ma se si dà loro una direzione obliqua, in un senso o nell' altro, di 45° per esempio, le scintille ricompaiono. È evidente che la grata decompone le vibrazioni incidenti in due altre, e lascia passare soltanto le vibrazioni componenti perpendicolari alla direzione de' fili: tale componente, che fa un angolo di 45° con la linea focale del secondo specchio, si decompone essa stessa in due altre, delle quali una soltanto contribuisce alla produzione della scintilla. Questa esperienza è analoga a quella della polarizzazione cromatica in Ottica, che consiste nel fare riapparire la luce nel campo di due tormaline o di due nicol incrociati, interponendo fra essi una lastrina di una sostanza birefrangente (spato d'Islanda, mica, gesso, ecc.) tagliata parallelamente all'asse.

Supponendo l'asse del vibratore verticale, le oscillazioni della forza elettrica si effettuano necessariamente nel piano verticale del raggio; ma le oscillazioni elettriche sono accompagnate, come si è detto, dalle oscillazioni della forza magnetica, e quest'ultime sono ad angolo retto con le prime, ossia si effettuano nel piano orizzontale. Le vibrazioni che si effettuano nel piano verticale sono dunque di natura elettrica, e quelle che l'accompagnano nel piano orizzontale sono di natura magnetica; onde per precisare la questione, è necessario che si dica se si tratta delle vibrazioni elettriche o di quelle magnetiche.

L'interferenza delle onde incidenti con quelle riflesse dalla parete metallica, il modo stesso di comportarsi di due specchi coniugati, sono la prova evidente della riflessione regolare delle onde hertziane. D'altra parte si può fare una nuova verifica del fatto volgendo i due specchi dalla stessa parte, con gli assi ottici rispettivi ad angolo retto. Con tale giacitura l'effetto nello specchio ricevitore è evidentemente nullo; ora ponendo nella comune intersezione una lastra metallica sufficientemente estesa, perpendicolare alla bisettrice dell'angolo retto formato dagli assi dei due specchi, le scintille subitamente riappaiono al risonatore: esse spariscono poi di nuovo facendo ruotare di una diecina di gradi la lastra metallica intorno ad un asse verticale, il che prova che si tratta di una riflessione regolare e non di una diffusione.

Per verificare indi che la propagazione è ben rettilinea, e che l'azione si trasmette in linea retta dall'eccitatore alla lastra speculare, e da questa al risonatore, basta vedere che l'interposizione di uno schermo conduttore sulla detta direzione sopprime le scintille, e non ha alcun effetto nelle altre posizioni.

Per accertare che questi raggi elettrici vanno soggetti alla rifrazione, passando dall'aria in un dielettrico, Hertz si valse di un gran prisma in asfalto, cogli spigoli paralleli al vibratore e al risonatore: facendo l'esperienza, egli osservava che le scintille al risonatore erano molto più appariscenti, quando l'asse ottico dello specchio, che conteneva il risonatore, faceva un angolo conveniente con l'asse ottico dell'altro specchio. Disponendo il sistema per la deviazione minima, le scintille erano singolarmente intense; allora gli assi dei due specchi facevano un angolo di 22°, e poichè l'angolo rifrangente del prisma era di 30°, risulta che l'indice di rifrazione della sostanza del prisma per queste lunghe onde era 1,69.

Di poi il prof. Righi, con un suo speciale eccitatore, potè ottenere onde assai più brevi ($7^{cm},5$) di quelle di Hertz, e così potè ridurre di molto le dimensioni degli specchi, del prisma e di tutti gli apparecchi. Oltre a quelle di Hertz, fece nuove esperienze di riflessione totale, di interferenza, di diffrazione, ecc. non lasciando più dubbio alcuno che le

onde elettriche seguono nella loro propagazione le stesse leggi di quelle luminose: onde si conclude che le une e le altre vanno considerate come moti di uno stesso mezzo, ossia come moti dell'etere; salvo la diversa lunghezza delle onde, non v'ha differenza fra la luce, il calore raggiante, e i movimenti elettrodinamici.

Secondo questa teoria pertanto la luce consiste in una perturbazione elettromagnetica propagata nello stesso mezzo che trasmette le altre azioni della stessa specie: per produrre l'irraggiamento basta produrre onde elettriche di breve periodo; ma quando si cerca di determinare le dimensioni che dovrebbe avere un circuito per dare onde comparabili con quelle della luce, si trova che esse dovrebbero essere quelle dell'atomo. Questo rende probabile che le onde luminose dell'etere possano essere generate dalle vibrazioni elettriche degli atomi. Finora per produrre in un milionesimo di secondo le centinaia di milioni di vibrazioni che sono richieste per la visione, non si conosce altro mezzo che il riscaldamento; questo modo però, come è evidente, non è economico, perchè le onde luminose così generate sono sempre una piccola frazione di quelle oscure, incapaci del tutto ad eccitare la retina.

Sarà più economica quella sorgente che per produrre un dato effetto sull'occhio, irraggerà in complesso una somma minore di energia. Da questo punto di vista la lucciola è la sorgente più economica di luce: l'insetto detto da Linneo *pirophorus noctilicus,* secondo Langlay e Very, non emette altri raggi all'infuori di quelli visibili, cosicchè a parità di luce esso irradia circa $\frac{1}{400}$ dell'energia emessa dalle fiamma di una candela, ed una frazione pur piccola di quella emessa dall'arco voltaico, che è la sorgente più economica fra quelle artifiziali.

Ora vogliamo aggiungere come l'impiego di fili conduttori permette di rendere i fenomeni prodotti dalle onde hertziane più manifesti a grande distanza. Così rimpiazzando le due sfere A e B del precedente apparecchio con

due lastre di ottone A, A', e ponendo dietro l'una di esse parallelamente una lastra metallica isolata P (fig. 27) delle stesse dimensioni, si fissi a questa un lungo filo metallico bac. Questo filo è percorso da onde che si riflettono alla sua estremità libera come quelle sonore in un tubo d'organo, e danno origine ad onde stazionarie. Studiando col mezzo d'un risonatore la posizione dei nodi e dei ventri, si trova che la lunghezza dell'internodo è costante, qualunque sia la natura del filo, e la stessa che per l'aria. Ciò conduce ad ammettere che è il mezzo e non il filo il veicolo dell'azione elettrica: ciò concorda con le

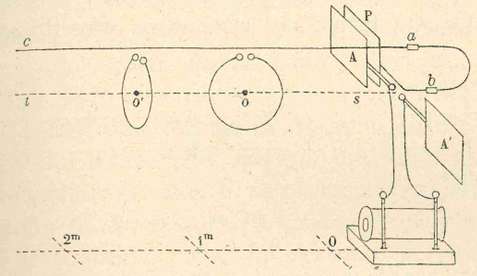


Fig. 27.

teoriche di Maxwell, secondo le quali una corrente elettrica è la manifestazione d'un trasporto di energia, che si compie nel mezzo che circonda i conduttori. Questi non servono che a dirigere la propagazione, ed assorbono parte dell'energia, trasformandola in calore: la propagazione dell'energia elettrica si fa nel mezzo, dove, secondo Maxwell, succedono i vortici elettromagnetici che attorniano i conduttori.

Lecher, studiando la propagazione delle onde hertziane lungo due conduttori paralleli, disponeva l'apparecchio come è indicato dalla fig. 28. L'eccitatore è formato da due piatti A ed A' nel medesimo piano: di contro sono due altri piatti B e B' muniti di fili conduttori paralleli $L\,L'$, sui quali si colloca trasversalmente un filo PP', che serve da ponte. Le correnti provocate dall'in-

duzione elettrostatica si propagano lungo i detti condottori, o più esattamente nel dielettrico che li circonda. Siccome queste due correnti sono in ciascun istante eguali e di segno contrario, il mezzo del ponte, dove gli effetti della medesima natura arrivano nello stesso istante, è un ventre di vibrazione, e si producono sui fili dei nodi N_1 N_2, N_1' N_2', rispettivamente di fronte l'uno all'altro. Un risonatore posto nell'intervallo di due nodi, deve restare silenzioso. Lecher usava come risonatore un tubo di Geissler; Blomdlot adoperò invece un quadro rettangolare R, interrotto da due piatti paralleli che formano condensatore, e portano due punte laterali, tra le quali si osservano le scintille. Questa forma del risonatore offre il vantaggio di

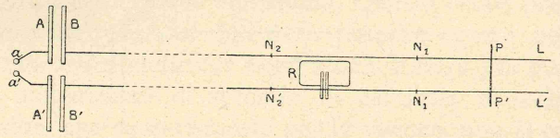


Fig. 28.

poterne precisare il periodo: trovandosi esso nel piano dei due fili, le scintille sono dovute alle variazioni del campo magnetico.

Supponiamo dapprima il ponte posto a qualche decimetro dal risonatore, e più lontano di questo dalla bobina: appena questa funziona, un torrente di scintille scocca al micrometro del risonatore. Se si allontana allora a poco a poco il ponte, le scintille diminuiscono di vivacità, indi cessano del tutto: in tal caso il risonatore è davanti a due nodi, e la sua distanza dal ponte, corretta per la lunghezza di questo, equivale a $^1/_4$ della lunghezza d'onda. Si muove allora il ponte verso la destra, in modo che il risonatore, dopo aver dato scintille di intensità crescente e poi decrescente, sia di nuovo silenzioso. La distanza x di cui s'è spostato il ponte, è l'internodo, che misura la metà della lunghezza d'onda; e poichè il periodo del risonatore è conosciuto, si ha il modo di calcolare la velocità

di propagazione delle oscillazioni elettriche la quale è risultata sempre eguale alla velocità della luce.

§ 19. **Ancora delle radiazioni ultraviolette.** — È molto interessante di studiare la propagazione delle onde eteree di breve lunghezza attraverso ai corpi, perchè esse, approssimandosi alle dimensioni molecolari, hanno una maggiore connessione con la materia ponderabile. Il limite di grandezza che si assegna alle molecole più grosse, è dell'ordine del milionesimo di millimetro: le più brevi lunghezze d'onda scoperte in questi ultimi tempi non hanno dunque che una estensione cento volte circa maggiore, e quindi rispetto ad esse le dimensioni molecolari non sono più trascurabili. Riguardo a tali radiazioni, la materia appare già con una certa discontinuità; essa si comporta rispetto a tali onde così brevi come i corpi otticamente discontinui, vale a dire formati di finissimi grani; tai corpi sono tanto più trasparenti, quanto più lunghe sono le onde delle radiazioni che li colpiscono. Se l'onda sorpassa di molto le dimensioni de' grani, i corpi sono perfettamente trasparenti: così un prisma di asfalto, un muro, una parete di legno sono ben trasparenti per le lunghe onde eteree di Hertz. Un sasso posto sul cammino delle onde circolari, prodotte alla superficie di un'acqua tranquilla dalla caduta di una goccia di pioggia, rinvierà indietro una notevole frazione di ciascuna onda che lo incontra; mentre la frazione di una grande onda rinviata dal piccolo ostacolo non può essere che piccolissima. Ora è chiaro che pei raggi ultravioletti estremi, quasi tutti i corpi, anche sotto piccolo spessore, debbano essere quasi opachi, sebbene per la luce ordinaria possano essere trasparenti.

Nel corso delle sue belle ricerche sulle oscillazioni elettriche, Hertz osservò un'azione ben netta delle scintille del circuito primario su quella del risonatore. Mentre quest'ultima scoccava a ciascuna oscillazione nell'aria libera, cessava non sì tosto che fosse difesa con una scatola di legno o di cartone. Hertz riconobbe che l'influenza esercitata dalla scintilla primaria su quella del riso-

natore, era unicamente dovuta alla sua luce, ricchissima di raggi ultravioletti: proteggendo difatti con un corpo opaco qualunque, conduttore o dielettrico, l'interruzione del risonatore, la scintilla vi faceva difetto; mentre, al contrario, la interposizione del quarzo, sostanza trasparentissima pe' detti raggi, restava senza effetto.

Del resto che l'azione in discorso sia dovuta ai raggi ultravioletti della luce della scintilla lo prova anche il fatto, che tutte le altre sorgenti ricche di simili raggi, come la luce elettrica e quella del magnesio, si mostrano attive allo stesso modo. Hertz poi, coprendo l'una dopo l'altra tutte le parti dell'apparecchio, riconobbe che la parte più sensibile alla luce ultravioletta è l'elettrodo negativo.

Questa scoperta di Hertz ne fece ricordare un'altra dovuta ad A. Nodon, che ha con essa la più stretta relazione: Nodon esponendo all'azione della luce solare un disco di metallo ben isolato e unito all'ago di un elettrometro, aveva constatato che questo disco si elettrizzava positivamente. L'esperimento può ripetersi assumendo come sorgente di luce l'arco voltaico; e si può, come nell'esperienza di Hertz, constatare che mentre gli altri corpi, il vetro compreso, interposti sul camino de' raggi affievoliscono o distruggono del tutto il fenomeno, il quarzo invece è senza influenza.

L'azione della luce ultravioletta non si fa sentire soltanto nel breve intervallo, dove la scintilla deve scoccare; essa esercita la sua azione anche nel caso della scarica lenta di un corpo isolato ed elettrizzato, come ha scoperto Hallwachs.

Il nostro Righi e Stoletow, che hanno largamente studiato questo interessante fenomeno, in uno de' loro numerosi sperimenti disponevano le cose nel modo seguente: dinanzi a un disco metallico si trova, a breve distanza da esso, una reticella metallica; l'uno è unito al polo positivo di una pila, l'altra al polo negativo. Un galvanometro posto nel circuito non accusa alcuna deviazione, perocchè lo strato d'aria interposto fra i due conduttori sud-

detti, che formano uno speciale condensatore ad aria, interrompe il circuito; ma non sì tosto si illumina il disco, attraverso le maglie della reticella, la deviazione accade immediatamente.

Finalmente, se si prende un elettroscopio a foglie d'oro carico, e s'illumina la sferetta dell'istrumento con raggi ultravioletti, la dispersione della carica si accelera grandemente, se essa è *negativa*. Per valutare la dispersione elettrica prodotta dai raggi ultravioletti i fisici hanno ricorso generalmente a misure di tempo, determinando, nelle varie esperienze, sia il tempo che occorre affinchè il potenziale di un dato conduttore passi, per effetto delle radiazioni, da un dato valore a uno minore (che può essere anche zero), sia invece misurando la variazione di potenziale che si produce in un tempo costante. Il fenomeno è molto complesso: esso dipende dalla natura del conduttore, dallo stato della superficie, dal potenziale iniziale, e sovratutto dal segno, poichè, mentre la dispersione è rapida colla elettricità negativa, è nulla o quasi nel caso di cariche positive.

La pressione del mezzo gassoso ambiente ha poi una particolare importanza: quando, partendo da quella normale, si diminuisce la pressione dell'aria che circonda un corpo elettrizzato negativamente, sul quale si fanno giungere raggi ultravioletti, la dispersione comincia con accelerarsi; ma si giunge ad una *pressione critica*, alla quale la dispersione ha il massimo valore; dopo di che torna a diminuire, se si continua a diminuire la pressione dell'aria. Stoletow, che ha studiato in tutti i particolari questo fenomeno, ha trovato che la detta pressione critica è proporzionale alla densità dell'elettricità sul conduttore; cosicchè basterà o caricare il conduttore ad un più alto potenziale, o accostargliene un altro in comunicazione con il suolo, per far sì che la pressione critica aumenti.

Se si fa comunicare la reticella con il suolo e il disco con l'elettrometro, le radiazioni facendo disperdere la carica negativa che per effetto della forza elettromotrice di contatto possiede o la rete o il disco (i quali un istante

prima dell'esperienza furono messi in comunicazione metallica), determinano una deviazione positiva o negativa a seconda della natura de' metalli. Nasce da qui, poichè i detti raggi disperdono rapidamente l'elettricità negativa, che un corpo scarico finisce per acquistare, sotto la loro influenza, una carica positiva, come mise in evidenza il professor Righi: ma poichè la detta carica cessa di crescere, quando la densità elettrica ha raggiunto un certo valore, costante per ogni data sostanza, la deviazione positiva dell'elettrometro diminuisce se al corpo che riceve le radiazioni si avvicina un conduttore comunicante con il suolo. Onde per mettere in evidenza la debole carica positiva generata dalle radiazioni, è bene che il corpo sia lontano da ogni altro.

Lenard e Wolf attribuiscono la scarica de' corpi elettrizzati sotto l'influenza de' raggi ultravioletti ad una convessione dell'elettricità, alla quale servono da supporto le polveri distaccate dalla massa del conduttore: essi ammettono cioè che tali radiazioni polverizzino i conduttori metallici. Aitken ed Helmholtz hanno dimostrato che l'aria può sovrasaturarsi di umidità, se esente da polveri; la condensazione invece accade tanto più rapidamente quanto maggiore è il numero di simili nuclei solidi in sospensione nell'atmosfera. Dall'aspetto che assume un getto di vapore, si può quindi giudicare della maggiore o minore quantità di pulviscolo natante nell'aria. Ora col mezzo di un getto di vapore sovrasaturo, Lenard e Wolf hanno potuto seguire la via delle polveri minutissime, staccate dai conduttori elettrizzati negativamente, quando si scaricano sotto l'azione de' raggi. L'argento, stando a tali ricerche, è il metallo che più facilmente resta polverizzato; vengono poi l'oro, lo stagno, lo zinco. La polverizzazione de' metalli nei tubi a scarica estremamente rarefatti, venne già segnalata da Hittorf e da Goldstein: Fleming di poi ha osservato la vaporizzazione degli attacchi metallici anche nelle lampade a incandescenza, e non pare fuori di luogo attribuirne la cagione ai raggi ultravioletti.

Ma la polverizzazione del metalli elettrizzati negativamente non è la sola azione esercitata dalle radiazioni ultraviolette: queste, secondo le esperienze di Arrhenius, dissociano i gas, liberando i ioni che costituiscono le loro molecole; ossia le vibrazioni rapide dell'etere possono non solo comunicare alle particelle materiali una forza viva sufficiente a vincerne la coesione, ma aumentare la velocità di vibrazione degli atomi a un grado tale da produrre lo sfasciamento delle molecole. Ora, affinchè questo avvenga, è necessario che siffatte radiazioni siano assorbite; e questa circostanza deve anch'essa contribuire a spiegare il perchè della opacità de' gassi per le radiazioni di brevissima lunghezza d'onda.

È bene da ultimo sapere che tale proprietà de' raggi ultravioletti si riscontra anche nella luce ordinaria, ma occorrono all'uopo corpi assai sensibili: tali sono, come l'hanno provato Elster e Geitel, i metalli alcalini, sodio e potassio.

Questi fenomeni non sono estranei all'argomento del libro, che è quello precipuamente de' raggi del Röntgen; essi anzi daranno forse il mezzo di decidere fra le ipotesi messe innanzi a spiegare la natura de' nuovi raggi.

Ci è ora necessità di dichiarare in modo più esteso il fenomeno della fosforescenza, al quale abbiamo appena accennato in principio di questo lavoro.

§ 20. **Fosforescenza.** — L'energia raggiante che viene assorbita dai corpi, si trasforma in altre forme di energia: come si è notato innanzi, quando essa accresce l'energia cinetica delle molecole, produce soltanto RISCALDAMENTO se il periodo di vibrazione non supera $\frac{1}{400.10^{12}}$ di secondo; produce invece *fosforescenza* quando fa compiere alle molecole vibrazioni più rapide: in tal caso l'energia, essendo di nuovo ceduta all'etere, riproduce della luce che in generale è diversa da quella incidente.

Oltre a ciò l'energia assorbita può scomporre le molecole nei *joni* che le costituiscono, dando così luogo a fenomeni chimici.

I corpi fosforescenti si dividono in due classi: alcuni assorbendo molti dei raggi più rifrangibili e degli ultravioletti, divengono luminosi e perdurano ad emettere la luce fosforescente per parecchio tempo ancora dopo essere stati sottratti ai raggi eccitatori: tali sono i corpi propriamente detti FOSFORESCENTI. Altri invece si spengono subito dopo, al cessare della luce eccitatrice: sono essi i corpi detti FLUORESCENTI. Così, per esempio, il solfuro stronzico emette, secondo il modo di preparazione, luce rossa, verde, turchina o aranciata che dura qualche ora: lo spato calcare invece perde la sua fosforescenza gialla in meno di $^1/_2$ secondo. È importante notare l'azione del calore sopra le sostanze fosforescenti: prendendo un solfuro qualunque conservato lungo tempo nell'oscurità, il quale non emette più luce, se lo si scalda, ritorna luminoso per poco tempo; ma poi ridiviene oscuro, e non è possibile rieccitar la luce riscaldandolo ancora. Esponendolo al sole, acquista di nuovo la fosforescenza; la perde una seconda volta se lo si lascia nell'oscurità per un tempo sufficiente, e la ricupera per poco col riscaldamento.

La spiegazione di questo fatto è semplice: quando il corpo è esposto al sole, assorbe e conserva una quantità determinata di energia: esso, cedendola all'etere, la perde in seguito lentamente se la temperatura è bassa, rapidamente se questa è elevata. A freddo irraggia troppa poca luce perchè l'occhio nell'oscurità la percepisca: riscaldandolo, ridiviene luminoso perchè l'emissione dell'energia accumulata si accelera; ma quando sarà tutta spesa, finisce di rilucere.

Ne viene di conseguenza che col riscaldamento la fosforescenza si fa più viva, ma dura minor tempo. Si può fare l'esperienza di proiettare uno spettro puro sopra un cartone spalmato di un solfuro esposto già alla luce del sole, e si vedrà attivata la fosforescenza nella regione rossa e più ancora in quella oscura. Ma ben presto la fosforescenza si esaurisce: e allora spiccheranno luminosi quei punti sui quali in quella regione cadevano le linee

di Fraunhofer, perchè l'azione acceleratrice dei raggi calorifici ivi non si verificava. Talora accade pure che il calore faccia mutare il colore della luce emessa: citeremo come esempio il solfuro di stronzio

$-20°$	$+20°$	$+40°$	$+70°$	$100°$	$200°$
violetto	indaco	bleu chiaro	verde	giallo	aranciato.

Il solfuro di calcio prova un'azione della stessa specie, ma in senso inverso; vale a dire che esso, quando è scaldato, tende a emettere delle luci sempre più rifrangibili.

Per vedere quali sono le luci meglio atte a destare la fosforescenza, il modo migliore è di proiettare con una lente ed un prisma di quarzo, che è ben trasparente anche pei raggi ultravioletti, uno spettro puro sopra un foglio di carta, sul quale sia steso uno strato della sostanza che si vuol esperimentare. Lo spettro risulterà più lungo dell'ordinario e diversamente colorato a seconda dei casi, e vi si vedranno anche nella regione ultravioletta le medesime righe oscure di Fraunhofer, che si manifestano colla fotografia. Si constaterà nello stesso tempo che il fenomeno sarà eccitato con intensità maggiore dai raggi più rifrangibili della regione luminosa e da quelli ultravioletti. La luce durerà per qualche tempo, se le sostanze sono fosforescenti, ma si spegnerà subito se esse sono fluorescenti.

Quando pertanto si espone al sole una di tali sostanze, i raggi più rifrangibili assorbiti eccitano la fosforescenza, e quelli calorifici aumentando la velocità di emissione rendono il fenomeno più brillante, ma la durata diminuisce necessariamente.

Facendo passare un fascio di raggi solari attraverso a un vetro bleu di cobalto, la fosforoscenza dura più a lungo, perchè il vetro arresta in gran parte i raggi calorifici.

Il solfato di chinina, il vetro d'uranio, la tintura alcoolica della corteccia dell'ippocastano ecc., che sono sostanze fluorescenti (§ 7), interposte sul cammino dei raggi, tolgono a questi ogni attitudine a destare il fenomeno,

poichè i raggi capaci di produrlo sono da esse assorbiti. Le sorgenti luminose povere dei raggi più rifrangibili, come le fiamme, agiscono debolmente; al contrario la luce elettrica e quella del magnesio, così ricche dei raggi ultravioletti, sono eminentemente atte a destare fosforescenze splendide e durevoli.

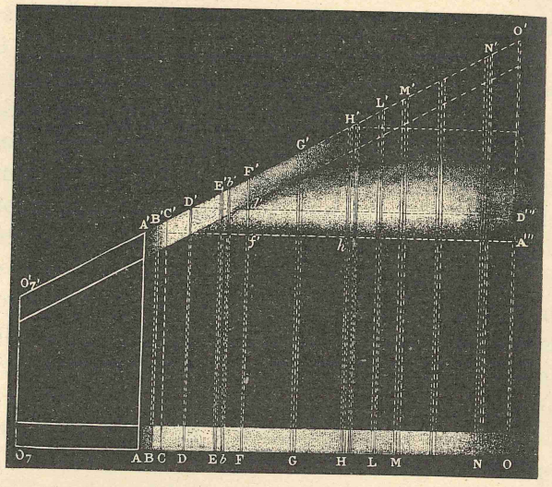


Fig. 29.

Per vedere poi quali sono i raggi emessi dalla fosforescenza proiettiamo, come si è detto, uno spettro puro AHO (fig. 29) sopra una sostanza fosforescente distesa su di un foglio, e osserviamo la striscia luminosa con un prisma di cui gli spigoli sono orizzontali: si vedrà uno spettro nella direzione $A'H'O'$, formato dai raggi che sono semplicemente diffusi dalla sostanza fosforescente, ed inclinato perchè i colori sono maggiormente deviati dal rosso A' al violetto H'. Inoltre ciascun punto, come p. es. F, fornisce uno spettro lineare $f'F'$ formato dalla decomposizione della luce fosforescente che questo punto emette. E poichè questa luce contiene in generale tutti i raggi semplici dal rosso fino al verde che si trova in F, tale

spettro lineare sarà continuo; e il rosso si vedrà in f' sopra una linea $A'A'''$ parallela ad AH, il giallo in d', il verde in F'.

Lo stesso fenomeno si riproduce in tutti i punti della striscia AH, e similmente per quelli della regione ultravioletta HO; vale a dire, ciascuno di essi darà origine a uno spettro lineare simile a $f'F'$, allineandosi in modo da formare uno spazio colorato che avrà il rosso su $A'A'''$, il giallo su $D'D'''$, ecc.

Questo modo di osservazione rivela che ogni radiazione semplice, come F, è trasformata dalla fosforescenza non già in una radiazione semplice, ma in una moltitudine di altri raggi colorati, i quali hanno però sempre un indice di rifrazione inferiore a quello della luce eccitatrice. Ossia il rosso non potrà dare che il rosso e del calore oscuro; il violetto H produrrà tutte le luci e tutti i raggi oscuri; finalmente i raggi attinici O nell'estremo violetto potranno trasformarsi in tutte le radiazioni calorifiche, luminose o attiniche. Un pregio di questo metodo d'osservazione consiste in ciò che esso si applica a tutte le fosforoscenze possibili, persistenti o di brevissima durata: così, può osservarsi la fosforoscenza che dura pochissimo tempo di molti corpi, come lo spato, il corindone, i sali d'uranio, molti fiori, la pelle delle nostre mani, e tutte quelle sostanze fluorescenti che abbiamo detto.

Wiedemann a cui si devono molti belli studî sui fenomeni presentati dai corpi fosforescenti e fluorescenti, ai quali egli ha dato il nome generale di FENOMENI LUMINESCENTI, ha osservato che la fosforescenza è sovratutto importante in certe sostanze, che sotto l'azione della luce si decompongono parzialmente. Alcuni sali presentano questo fenomeno in modo particolare, e si può facilitare la decomposizione, formando quelle mescolanze che Van t'Hoff ha chiamato SOLUZIONI SOLIDE. Sono esse mescolanze intime di due sali, di cui l'uno, aggiunto in debolissima quantità all'altro, è pronto a decomporsi parzialmente, e a formare col secondo una piccola proporzione

d'un terzo corpo, che in generale è meno stabile dei due primi. Si può, per esempio, ottenere un corpo fosforescente di questa natura, aggiungendo una piccola quantità di solfato di magnesio al solfato di calcio. Per ottenere la mescolanza intima, ossia la soluzione solida suddetta, si scioglie il primo di questi corpi nell'acido solforico, che di poi serve a precipitare una soluzione di cloruro di calcio. Si può anche sciogliere i due corpi, che si vogliono mescolare, e poi evaporare la soluzione.

Questo fatto induce a pensare, che in un gran numero di casi i corpi fosforescenti devono tale loro proprietà alla presenza di piccole tracce nella massa di un altro corpo: così se ai solfati o ai carbonati delle terre alcaline si aggiunge una piccola quantità dei sali corrispondenti d'un metallo, come l'uranio, il manganese, il magnesio ecc., la luce sviluppata acquista un particolare splendore. Effetti brillanti sono ottenuti anche aggiungendo ai sali di calce piccole quantità di quelli di manganese.

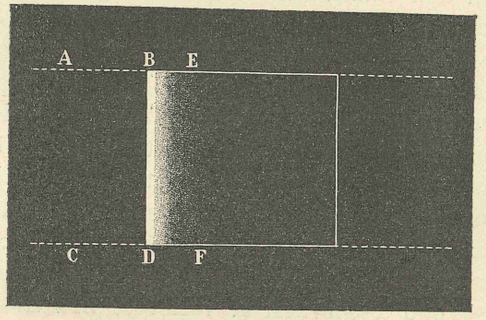


Fig. 30.

§ 21. **Fluorescenza.** — La fluorescenza, o *riflessione epipolica,* fu scoperta da Brewster e studiata particolarmente da sir G. G. Stokes. Se in una camera oscura si fa entrare un fascio di raggi solari $ABCD$ e lo si accoglie normalmente sulla faccia anteriore di un cristallo di fluorina (fig. 30), guardando questo trasversalmente secondo

il prolungamento della faccia BD, si vede che lo strato superficiale $BEDF$ del cristallo è vivamente rischiarato, e diffonde in tutte le direzioni una luce di cui la tinta varia con i diversi campioni del cristallo.

Un'azione simile si produce con un gran numero di sostanze trasparenti solide o liquide, come il vetro d'uranio, il solfato di chinina sciolto nell'acqua leggermente acidulata, le soluzioni di esculina, di clorofilla, di tornasole, e molti altri corpi. Poichè l'effetto ha per carattere costante di limitarsi allo strato superficiale $BDEF$,

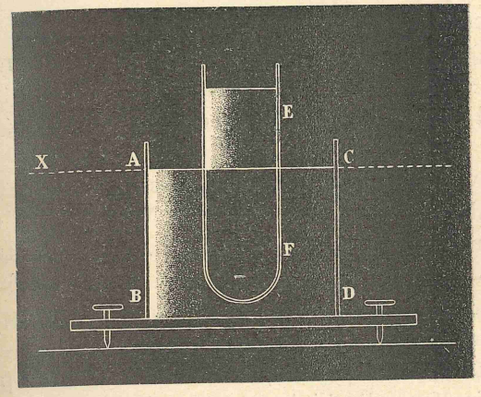


Fig. 31.

sir J. Herschel aveva indicato il fenomeno col nome di DIFFUSIONE EPIPOLICA o superficiale: oggi più comunemente il fenomeno è detto FLUORESCENZA, appunto perchè venne prima osservato nella fluorina.

Se si pongono di seguito uno dopo l'altro due vasi contenenti bisolfato di chinina, o qualunque altro liquido attivo (fig. 31), il primo solo manifesta la fluorescenza; il secondo si comporta come l'acqua pura e la spiegazione è quella che si è detta superiormente, vale a dire i raggi atti a destare la fluorescenza vengono assorbiti dallo strato più o meno spesso della sostanza, e però la luce che passa non è più atta ad eccitare il fenomeno sulla sostanza me-

desima. Per la stessa ragione, se con una lente convergente si fa arrivare la luce del sole in uno di tali liquidi dalla loro superficie libera, guardando lateralmente, si vedrà un bel cono luminoso che va impallidendo negli strati più profondi.

Studiando lo spettro di assorbimento delle sostanze fluorescenti, si trova che l'esculina, il solfato di chinina, ecc. assorbono del tutto e sotto un piccolo spessore i raggi attinici dello spettro da F in H, e lasciano passare solamente il gruppo delle radiazioni luminose meno rifrangibili da A in F.

La curcuma opera un simile assorbimento, a cominciare dal raggio D. La clorofilla in soluzione nell'alcool presenta cinque fascie d'assorbimento: due nel rosso, la terza nel mezzo del giallo, la quarta nel verde, la quinta nel bleu (n. 9 della Tav.).

Ricevendo ora nella camera oscura uno spettro reale, orizzontale, sulla faccia anteriore AN (fig. 29) d'una cassa di vetro riempita d'una delle sostanze precedenti, o sopra un solido trasparente fluorescente, i raggi calorifici da O_1 in A non producono alcun effetto, ma i raggi chimici lungo AO destano la fluorescenza.

L'illuminazione comincia in F e finisce in D per l'esculina, il bisolfato di chinina e il vetro d'uranio; essa si produce in D per la curcuma e si palesa nelle diverse righe d'assorbimento per la tintura di clorofilla. In generale dunque lo spettro di fluorescenza è più brillante in quei punti precisi nei quali è più cupo lo spettro di assorbimento, quello cioè che resta dello spettro solare dopo avere attraversato il corpo assorbente.

Si può dunque dire che le sostanze fluorescenti assorbono certi raggi, generalmente i raggi chimici, e che li emettono di nuovo dopo averli trasformati.

Analizzando la luce emessa per fluorescenza con un prisma, si osserva che essa è composta; ma i raggi che la costituiscono hanno, in generale, una rifrangibilità minore o tutt'al più eguale a quella della luce eccitatrice.

Questa proposizione è conosciuta sotto il nome di legge di Stokes, e sembra d'accordo con il principio della DEGRADAZIONE DELL'ENERGIA o dell'aumento dell'ENTROPIA, come vuole il principio di Carnot.

Difatti se la trasformazione dei raggi assorbiti si facesse in modo da diminuire la lunghezza d'onda della luce eccitatrice, l'energia essendo conservata, la temperatura virtuale della radiazione ne risulterebbe, contrariamente al principio suddetto, aumentata e non diminuita; dunque la trasformazione deve farsi risalendo verso le grandi lunghezze d'onda, come appunto vuole la legge di Stokes. Ma Lommel ha contestato in uno studio sperimentale teorico questa legge: secondo lui l'applicazione del principio di Carnot non è punto corretta in tal caso, poichè se nell'insieme delle radiazioni trasformate se ne trovano di quelle di cui la lunghezza d'onda è aumentata, si produce una degradazione che può compensare l'aumento del potenziale d'una parte delle radiazioni.

Risulterebbe dalle esperienze del Lommel che le sostanze fluorescenti in massima parte si comportano secondo la legge di Stokes, vale a dire che la loro luce fluorescente non contiene luci più rifrangibili di quelle che l'hanno prodotta; tuttavia alcune poche di esse, come certi colori, parrebbero non ubbidire alla legge suddetta.

Bastano questi pochi cenni su tale controversia, che ha per la teoria grande valore.

BIBLIOGRAFIA.

MELLONI, *Ann. de Chim. et de Physique*, 2.e série, t. LIII, p. 5, et t. LV, p. 337.

TYNDALL, *La lumière.*

MAGNUS, *Annales de Poggendorff*, t. CXII, p. 351 e 497.

TYNDALL, *Philosophical Transactions;* 1864.

YOUNG, *On the theory of light and colours (Phil. Transact.*, 1802, p. 12).

FRESNEL, *Première Mémoire sur la diffraction de la lumière.* (*Œuvres de Fresnel*, t. I, p. 9 e 41).

— *Deuxième Mémoire sur le même sujet.*

— (*Œuvres de Fresnel*, t. I, p. 83 et 129, p. 171 à 229, p. 247).

HUYGENS, *Traité de la lumière*, 1690.

NEWTON, *Optique*, 1704.

LE ROUX, *Sur la réfraction des gaz* (*Annales de Chimie et de Physique*, 3.e série, t. LXI, p. 285).

CHRISTIANSEN, *La dispersion anomale dans les dissolutions de fuchsine* (*Annales de Poggendorff*, t. CXLI, p. 479).

KUNDT, *Ann. de Pogg.*, t. CXLII, p. 163; t. CXLIII, p. 149 e 259; t. CXLIV, p. 128; t. CXLV, p. 17 e 164.

H. HERTZ, *Ueber sehr schnelle electrische Schwingungen* (*Ann. Wied.*, t. XXXI, p. 421, 448, maggio 1887).

— *Ueber die Einwirkung einer geradlinigen Schwingung auf eine benachbarte Strombahn* (*Annales Wied.*, t. XXXIV, p. 155-170; marzo 1888).

— *Ueber Inductionserscheinungen, hervorgerufen durch die electrische Vorgänge in Isolatoren* (*Ann. Wied.*, t. XXXIV, p. 273-286; aprile 1888).

H. HERTZ, *Ueber die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektro-dynamischen Wirkungen* (*Ann. Wied.*, t. XXXIV, p. 551-570; maggio 1888).

— *Ueber elektrodynamische Wellen in Luftraume im deren Reflexion* (*Ann. Wied.*, t. XXXIV, p. 609, 620; maggio 1888).

— *Die Kräfte elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie* (*Ann. Wied.*, t. XXXVI, p. 1-22; dicembre 1888).

H. HELMHOLTZ, *Optique physiologique.* Traduite par Emile Javal et N. Th. Klein (Paris, 1867).

LORD KELVIN, *On the velocity of Crookes'cathode stream* (*Proceedings of the Royal Society*, t. LII, p. 331; 1892).

KUNDT, *Ann. de Ch. et Ph.*, t. XXV (4), 1872.

COTTON, *Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique* (*Eclairage électrique, Revue d'Electricité*, t. VIII, p. 198).

E. WIEDEMANN et G. C. SCHMIDT, *Ueber Luminescenz* (*Annales de Wiedemann*, t. LIV, p. 604); *Ueber Luminescenz von festen Körpern im festen Lösungen* (*Ibid.*, t. LVI, p. 201).

BREWSTER, *Eight Report to the British Association for the Advancement of Science, et Philosophical Magazine*, 1848.

STOKES, *Sur la phosphorescence et la fluorescence* (*Transactions philosophiques*, 1852, p. 463, e 1853 p. 385, e *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3.e serie, t. XXXV, p. 491 et t. XXXIX, p. 253, et t. XLVI, 380.

HERTZ, *Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die electrische Entladung* (*Annales de Wiedemann*, t. XXXI, p. 983; 1887).

HALLWACHS, *Ueber den Einfluss des Lichtes auf electrostatisch geladene, Körper* (*Annales de Wiedemann*, t. XXXIII, p. 301; 1888). — *Ueber den Zusammenhang des electrischen Electricitätsver-*

lustes durch Beleuchtung mit der Lichabsorption (*Ibid.*, t. XXXVII, p. 666; 1889).

LENARD et WOLF, *Zerstäuben der Körper durch des ultraviolette Licht* (*Annales de Wiedemann*, t. XXXVII, p. 443; 1889).

RIGHI, *Sulla produzione di fenomeni elettrici per mezzo dei raggi di Röntgen* (*Rendiconto delle Sessioni della R. Accademia delle Scienze dell' Istituto di Bologna;* 9 febbrajo 1896).

CAPITOLO II.

SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI.

§ 22. **Scintilla elettrica.** — La scintilla elettrica che scocca fra due conduttori, squarciando l'aria interposta, è, come si sa, un fenomeno assai complesso. La *distanza esplosiva*, ossia la distanza massima alla quale la scintilla

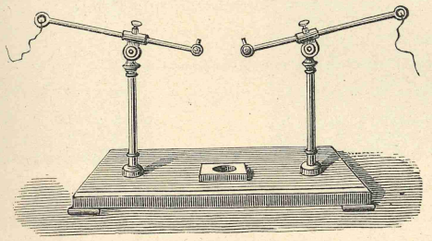


Fig. 32.

esplode quando i conduttori siano avvicinati gradatamente, la sua forma, il suo colore, ecc., ecc. dipendono da tante circostanze, quali la differenza di potenziale, la forma e la capacità dei conduttori, la natura e la densità del gas interposto. Ai due conduttori, fra i quali esplode la scintilla, si dà per lo più la forma di sferette che sono portate da due bracciuoli isolati, e possono avvicinarsi ed allontanarsi con movimento micrometrico: così è formato quell'istrumento detto SPINTEROMETRO (fig. 32). Le due sferette si fanno comunicare separatamente con i due conduttori che si trovano a differenti potenziali, per esempio con i

due poli di una macchina elettrica o con le due armature di un condensatore. Si è trovato così che, entro certi limiti, vale a dire per distanze nè troppo grandi, nè troppo piccole, la distanza esplosiva si conserva sensibilmente proporzionale alla differenza di potenziale delle due sferette; ma il suo valore varia colla dimensione, la forma e il segno elettrico dei conduttori. Insomma è una questione complicata di molto; però è cosa certa che, rimanendo le stesse tutte le altre circostanze, la lunghezza della scintilla cresce in una ragione più rapida della differenza di potenziale.

§ 23. **Influenza della pressione sulla distanza esplosiva.** — Rarefacendo l'aria interposta fra le due sferette eccitatrici, la scintilla si allunga; ovvero, ciò che è lo stesso, a provocare una scintilla di data lunghezza, occorre una differenza di potenziale minore. Per mostrare questo fatto, basterà congiungere i due poli di una macchina, da una parte alle due sferette S di uno spinterometro (fig. 33), dall'altra a due sferette P, Q chiuse in un lungo tubo di vetro, nel quale si possa praticare il vuoto, congiungendo il cannello M ad una pompa di rarefazione. A mano a mano che la rarefazione dell'aria procede, si potranno sempre più avvicinare le sferette S, senza che per questo il tubo cessi di illuminarsi: quando la rarefazione è molto spinta, così che l'aria residua non prema più di 2^{mm} o 3^{mm} di mercurio, la scarica passa fra le due palline P e Q sebbene molto lontane, piuttosto che superare il piccolo spessore d'aria S.

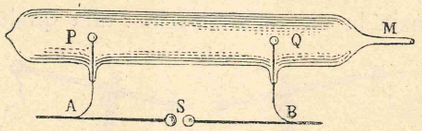


Fig. 33

Bisogna però notare che v'ha al passaggio della scarica una resistenza minima, la quale corrisponde presso a poco alla rarefazione suddetta di 2^{mm}; spingendo più oltre la rarefazione, come può farsi con le pompe a mercurio, la resistenza invece di diminuire ancora, aumenta: si costruiscono tubi talmente vuoti che la scarica più non vi passa.

§ 24. **Forma della scarica.** — Quando la capacità dei conduttori fra i quali avviene la scarica è piccola, questa succede per lo più in forma di fiocchi, e allora è l'aria soltanto che si arroventa: nell'aria i fiocchi sono violacei, ma il colore loro muta colla qualità del gas interposto. Quando invece la capacità dei conduttori è grande, scoccano delle vere scintille; e in tal caso, specialmente con forti tensioni, si staccano e si arroventano anche le particelle metalliche dei conduttori. L'esame spettroscopico difatti mostra che la scintilla presenta, oltre le righe caratteristiche del gas nel quale avviene, anche quelle dei metalli che formano i conduttori.

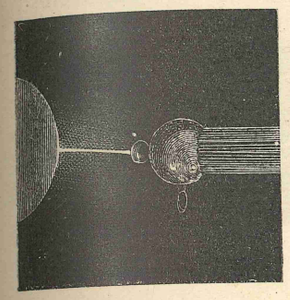


Fig. 34.

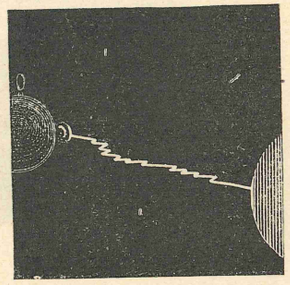


Fig. 35.

La scintilla affetta forme assai diverse a seconda delle circostanze: se la distanza esplosiva è piccola, la scintilla consiste in un tratto rettilineo luminosissimo, di spessore uniforme in tutta la sua lunghezza (fig. 34), e il suo diametro aumenta con la quantità di elettricità impegnata nella scarica. A partire da una certa distanza esplosiva, la quale aumenta con la capacità dei conduttori elettrizzati, e quindi con la quantità di elettricità impegnata in ciascuna scarica, la scintilla non è più rettilinea, ma forma una spezzata piegata a zig-zag (fig. 35).

Se si continua poi ad aumentare la distanza esplosiva, la scintilla presenta una forma più complessa: essa lascia sfuggire lateralmente dei tratti luminosi che partono più specialmente dagli angoli a zig-zag, e si ramificano a loro volta (fig. 36).

Tali ramificazioni sono brillanti e d'un color bianco alla loro base, come la stessa scintilla; ma diventano in seguito d'un bleu violaceo, e il loro splendore s'indebolisce a poco a poco verso le estremità. Le ramificazioni violacee indicano il passaggio della scintilla alla forma di pennacchio. Quando una macchina elettrica è in attività in una camera oscura, dei getti luminosi o fiocchi escono dalle parti salienti dei conduttori, con un fruscio che ri-

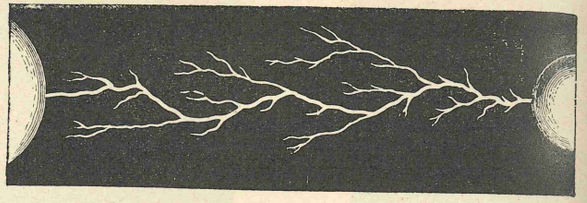


Fig. 36

chiama quello d'un getto di vapore: tali pennacchi sono formati generalmente da un peduncolo rettilineo assai brillante, che, a partire da un certo punto, si ramifica bruscamente in un gran numero di rami divergenti d'una tinta violacea meno viva; i rami si dividono poi a loro volta, e finiscono per estinguersi del tutto. Si producono dei bei pennacchi avvicinando al conduttore della macchina il bordo d'un piatto metallico, ad una distanza un po' superiore alla distanza esplosiva: l'esperienza riesce meglio munendo il conduttore di una sfera di piccole dimensioni. La fig. 37 rappresenta uno di tali pennacchi ottenuto alla distanza di 35^{cm}.

§ 25. **Densità e tensione elettrica.** — In una sfera isolata, lontana da ogni altro conduttore, l'elettricità, per ragioni di simmetria, si distribuisce uniformemente su tutti

i punti; e però la carica di ciascuna unità di superficie, o la DENSITÀ ELETTRICA come si chiama, è la medesima in ogni punto. In tutti gli altri casi la distribuzione non è uniforme, e la densità risulta maggiore nelle parti più curve. Nei dischi la densità ai bordi è quasi tripla di quella

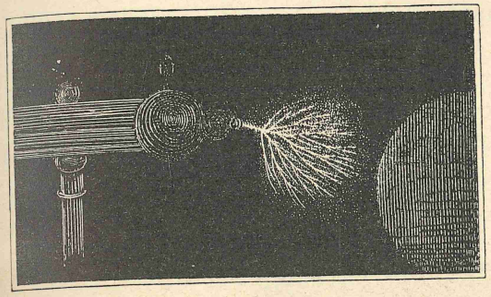


Fig. 37.

del centro; negli angoli del cubo essa è ben quadrupla di quella del mezzo della faccia. La fig. 38 mostra colle linee punteggiate la distribuzione elettrica in alcuni casi particolari: in generale essa acquista una grande densità

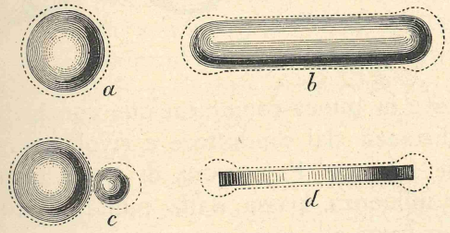


Fig. 38.

sugli spigoli e sulle punte. Ma col crescere della densità aumenta anche la TENSIONE ELETTRICA, ossia la pressione con la quale l'elettricità distribuita sul conduttore tende a passare nell'aria ambiente.

Se con ϱ si indica la densità, la tensione T è data dalla relazione $T = 2\pi\varrho^2$: la tensione quindi cresce in ra-

gione diretta del quadrato della densità; e perciò sulle parti sporgenti ben presto essa arriva al limite massimo, compatibile colla resistenza dell'aria, il quale è di circa mezzo grammo per centimetro quadrato. Comincia allora dai conduttori l'efflusso d'elettricità sotto forma di fiocchi o di pennacchi.

Il limite suddetto è subito raggiunto sulle punte, le quali in conseguenza disperdono nell'aria l'elettricità dei conduttori con i quali comunicano: in ciò consiste il POTERE DELLE PUNTE, e si capisce come non si riesca a caricare un conduttore munito di una o più punte, od anche quando

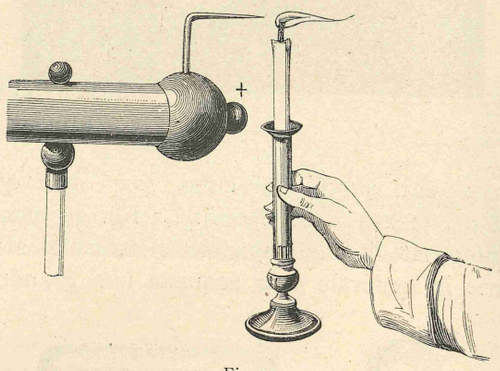


Fig. 39.

queste, poste in buona comunicazione con la terra, siano a breve distanza dal conduttore e rivolte verso di esso; giacchè in tal caso l'elettricità di nome contrario, promossa per influenza, passa dalla punta sul conduttore e lo riduce in parte allo stato naturale. Tanto con una punta positiva che con una negativa, le particelle di aria sono prima attratte ed elettrizzate e poi respinte perchè dello stesso segno del conduttore: si stabilisce così il VENTO ELETTRICO sensibile alla mano, il quale è capace di piegare e spegnere anche la fiamma d'una candela (fig. 39), e per effetto della reazione delle molecole d'aria gira il mulinello elettrico.

Ora, quando una punta disperde l'elettricità negativa, brilla su essa nell'oscurità una piccola stella, che è bianca: se invece lascia sfuggire elettricità positiva, appare su lei un fiocco luminoso violaceo. Parimenti nelle macchine ad influenza le punte del pettine negativo sono terminate da stelline brillanti, mentre quelle del pettine positivo lasciano sfuggire bei fiocchi violacei.

§ 26. **Durata della scintilla.** — La durata della scintilla delle macchine elettriche è in generale troppo piccola, perchè l'illuminazione ch'essa produce permetta di fotografare corpi in moto dotati di grandissima velocità, come i proiettili. Tuttavia la scarica non è semplice, come a prima vista potrebbe sembrare: difatti se la si osserva in uno specchio girante attorno ad un asse parallelo alla sua lunghezza, non si vede il solo tratto di fuoco della figura 34, ma un nastro luminoso, dalla cui lunghezza, se la velocità di rotazione dello specchio è nota, si può dedurre la durata della scintilla. Questa varia colla distanza esplosiva, con la capacità dei conduttori tra i quali scocca, e con la resistenza che oppone l'arco scaricatore al passaggio dell'elettricità. Intercalando grandi resistenze, come colonne di acqua distillata, nel circuito di scarica, si vede che la scintilla è formata da tante scariche parziali; ma scaricando un condensatore con un arco tutto metallico e di piccolissima resistenza, la scarica diventa oscillante, essa cioè risulta di molte scariche parziali alternativamente opposte.

Anche la scarica a pennacchio è discontinua, come si può vedere osservandola in uno specchio girante. D'altronde un segno chiaro della sua discontinuità si ha nel suono che l'accompagna e che diviene tanto più acuto o più debole, quanto più le scariche parziali che lo costituiscono sono frequenti o meno. Ma mentre la scintilla produce una scarica quasi completa, i fiocchi o pennacchi non lasciano sfuggire dal conduttore che piccole quantità di elettricità.

§ 27. **Ancora della forma della scarica.** — Una macchina ad influenza elettrostatica, come quella di Holtz

o di Wimshurst, conviene perfettamente per mostrare le differenti forme delle scariche. Se si tolgono gli ordinari condensatori, e si allontanano le due sferette dell'eccitatore ad una distanza relativamente grande, si ottengono dei bei pennacchi di forme svariate.

A misura che si avvicinano le due sferette, la nota di tai pennacchi diventa più acuta; quando la distanza non è più che di pochi centimetri, la scarica ha luogo sotto la forma di tratti paralleli violacei per la maggior parte, ma mescolati di tratti più bianchi: si ha cioè una mescolanza continua di pennacchi e di scintille. Per ottenere delle scintille sole, bisogna aumentare la capacità dei conduttori della macchina, aggiungendovi dei condensatori: allora, essendo maggiore la elettricità che si neutralizza in ogni singola scintilla, per la stessa differenza di potenziale le scintille sono più vive e più luminose.

La mescolanza di fiocchi e di scintille succede quasi sempre nella scarica che avviene nell'aria, alla pressione atmosferica, della bobina di Ruhmkorff. Se le interruzioni della corrente primaria sono sufficientemente rapide, le scariche sembrano continue e sono composte di scintille aventi l'apparenza di tratti di fuochi, circondate da un involucro violaceo che rassomiglia ad una fiamma. Esaminando la scarica col solito mezzo dello specchio rotante, si vede la fiamma allargarsi, mentre lo stesso non accade del tratto di fuoco; segno evidente che questo dura un tempo piccolo, per rispetto alla scarica che produce la fiamma. Proiettando una forte corrente di aria sulla scarica, la fiamma è deviata, ma la scintilla continua a propagarsi sulla sua via senza disturbo. Inversamente, se in vicinanza alla scarica si colloca un corpo qualunque, conduttore o isolante non importa, il tratto di fuoco è deviato e va da un polo all'altro toccando il corpo vicino, mentre la fiamma non è punto modificata.

Avviene qualche volta che una macchina elettrica in attività presenti alle estremità dei conduttori, specialmente quando sono terminate da sfere di piccolo diametro, aureole luminose, tranquille, continue e del tutto silenziose; solo le accompagna un soffio d'aria molto gagliardo. Per osservare il fenomeno, fa d'uopo una macchina elettrica poderosa e diminuire le dimensioni dei conduttori nei punti dove si fa la scarica, avendo cura di allontanare i corpi estranei. L'assoluta continuità della luce sembra indicare una trasmissione non interrotta di elettricità nell'aria, operata dalla sferetta. Tali aureole si ottengono più facilmente collo stato elettrico positivo che con quello negativo, forse perchè quest'ultimo si trasmette e disperde più facilmente; ma è particolarmente nei gas rarefatti che si osservano tali apparenze, e il passaggio dal fiocco all'aureola si fa allora gradualmente.

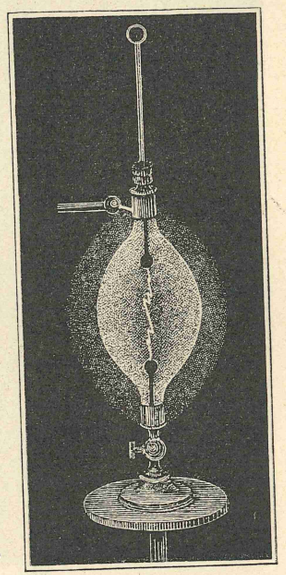


Fig. 40.

§ 28. **Scarica nei gas rarefatti.** — Supponiamo per esempio che si faccia l'esperienza con l'uovo elettrico. Consiste questo apparecchio in un recipiente di vetro di forma ovoidale, nel quale si può rarefare l'aria col mezzo di una buona macchina pneumatica, o meglio con una pompa di Sprengel: penetrano in esso a perfetta tenuta, e a seconda dell'asse maggiore, due verghette di ottone terminate da piccole sfere, delle quali si può regolare a piacere la distanza con lo spinger dentro o col ritirar fuori l'asticina superiore.

Finchè la pressione è quella ordinaria, le scintille che si producono tra le due sferette, quando si congiungono ai due poli di una macchina elettrica, non differiscono da quelle nell'aria libera (fig. 40). Quando invece la rarefazione vi è abbastanza spinta, sicchè non si producano più le scintille, i fenomeni luminosi presentano particolarità

differenti, secondo che la corrente che attraversa l'apparecchio è continua, oppure discontinua.

Per sperimentare nel primo modo, basta collegare, per mezzo di grossi reofori di rame accuratamente isolati, gli elettrodi dell'apparecchio posto sopra un sostegno coibente, coi due conduttori di una macchina a induzione, p. es., quella di Holtz; oppure invece basta riunire l'elettrodo superiore dell'uovo con uno dei poli di questa macchina, mettendo intanto in buona comunicazione con la terra l'elettrodo inferiore e l'altro polo della macchina. Operando in questa guisa, con una rarefazione moderata, si vedono alcune striscie longitudinali, di color violaceo, riunire le due sferette (fig. 41): di poi quando la rarefazione è più spinta, le striscie si fanno più larghe e sfumate e dalla pallina positiva si sviluppa un fuso di luce rossa, che si dirige verso l'opposta sferetta: questa allora e la verghetta che la sostiene nell'interno, appaiono avviluppate da una aureola uniforme azzurro-violetta (fig. 42); e si osserva che tra questa aureola e la luce rossa proveniente dall'elettrodo positivo rimane uno spazio oscuro.

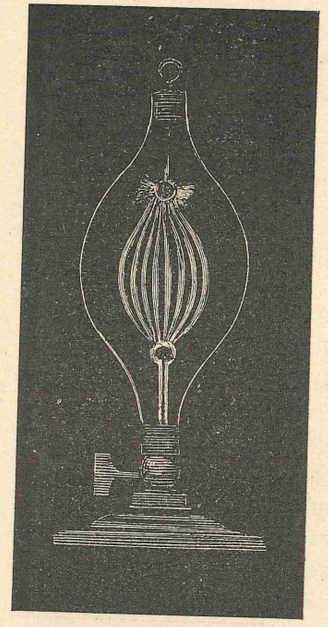


Fig. 41.

Risultati consimili si hanno sostituendo all'aria l'azoto od altri gas, salvo che i colori delle luci intorno agli elettrodi cambiano secondo la natura degli aeriformi, e le differenze caratteristiche loro sono meno spiccate.

Per sperimentare invece con la corrente discontinua si mette, come dianzi, l'elettrodo inferiore dell'uovo in comunicazione permanente colla terra e con il polo negativo

della macchina elettrica, e si colloca in pari tempo a breve intervallo dall'anello, ovvero dalla verghetta che porta l'elettrodo superiore, una sferetta di metallo congiunta al polo positivo della macchina, cosicchè tra la sferetta e l'asticciuola scocchi una serie di frequenti scintille. La sferetta negativa e la verghetta che la sostiene sono, come prima, rivestite dell'aureola violetta, che in questo caso è più

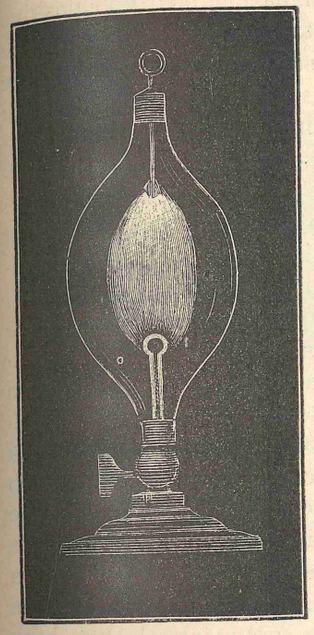


Fig. 42.

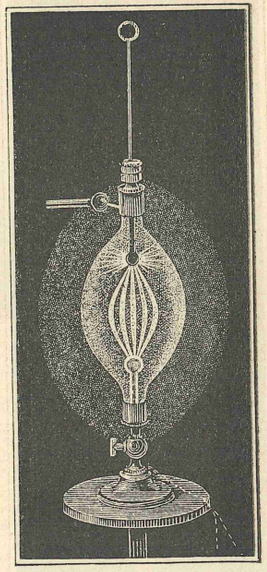


Fig. 43.

appariscente: dalla sferetta positiva poi, quando la pressione è ridotta a 5 o 6^{cm}, si vedono divergere lateralmente striscie di luce purpurea, e inferiormente alcune striscie longitudinali violacee arrivano sino alla sferetta opposta (fig. 43): esse sono dovute ad altrettante scariche successive, le cui imagini persistono sulla retina e però si sovrappongono. Continuando ad estrarre l'aria, le striscie si fanno come prima più larghe e più sfumate, ed una luce

continua fusiforme, di color porpora riunisce le due palline, ed è più luminosa verso le estremità; intorno al polo negativo si mantiene l'aureola violetta. Inserendo nel circuito un reoforo di grande resistenza, come per esempio una funicella bagnata, e insieme a questa un condensatore, la luce rossa che emana dall'elettrodo positivo presenta facilmente il carattere delle stratificazioni, vale a dire si presenta come una serie di strati luminosi separati da intervalli oscuri (fig. 44). Tali stratificazioni si producono facilmente, quando vi si trasmetta la corrente discontinua della spirale secondaria d'un rocchetto d'induzione, specialmente se prima di rarefare l'aria si introduca nell'apparecchio un poco di vapore d'etere o d'essenza di trementina od altro carburo d'idrogeno. L'aureola che circonda l'elettrodo negativo e la luce stratificata sono separate da un intervallo oscuro, il quale si estende insieme con l'aureola suddetta quando la rarefazione aumenta, nel mentre la luce stratificata va restringendosi sempre più verso il polo positivo.

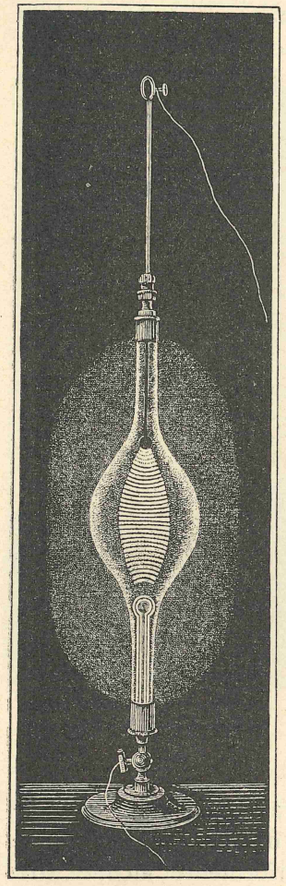


Fig. 44.

La larghezza e lo splendore degli strati dipendono dalla qualità e dalla densità del gas, dalle dimensioni e dalla forma del recipiente e dall'energia della scarica: la chiarezza aumenta con la luminosità generale e riesce maggiore nei tubi più stretti.

La fig. 45 rappresenta un tubo di Geissler nel quale la pressione è ridotta a circa 2^{mm} di mercurio, a cui corrisponde, come s'è detto, la minima resistenza al passaggio della scarica: essa è formata da una successione di ampolle e di tubi cilindrici; le stratificazioni si osservano bene in questi ultimi, e si estendono dall'elettrodo positivo fino ad una certa distanza da quello negativo.

§ 29. **Stratificazione delle scariche.** — Il fenomeno della stratificazione suddetta venne osservato per la prima volta da Abria nel 1843, il quale trasmetteva la corrente

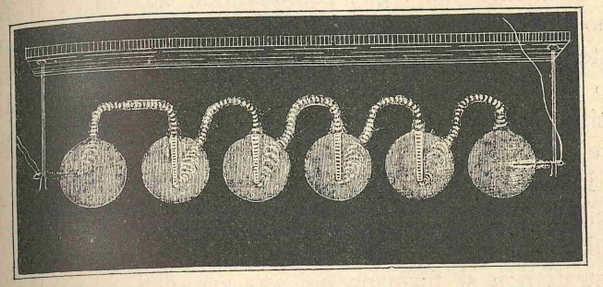


Fig. 45.

di un rocchetto in un tubo contenente dell'aria ridotta a 2^{mm} di pressione: di poi il fenomeno venne studiato da molti fisici, ma la spiegazione di tali stratificazioni non pare ancora stabilita in modo definitivo.

Grove considerando le scintille di una bobina di induzione come formate da una successione rapida di scariche parziali, il che è conforme all'osservazione, attribuiva le stratificazioni a un fenomeno d'interferenza fra tali scariche successive di segno contrario, analoghe alle interferenze delle onde sonore o luminose. Non è facile però concepire come possano prodursi fenomeni d'interferenza fra due sistemi di scariche, che non sono simultanee, ma alternanti.

D'altronde Fernet osservando tali stratificazioni in un specchio rotante, ha constatato che il fenomeno non è punto stazionario, ma in molti casi ciascuno degli elet-

trodi sembra alternativamente essere l'origine degli strati, nel mentre l'altro si mostra circondato di un'aureola non stratificata. Tale alternanza de' due elettrodi nella produzione delle stratificazioni, sembra escludere ogni idea d'interferenza. Inoltre le stratificazioni si possono ottenere in un tubo a rarefazione, dove si faccia passare la scarica di una bottiglia di Leida, nel circuito della quale sia inserita una grande resistenza; ciò che non è compatibile con la ipotesi di una interferenza fra correnti opposte.

Gaugain, riflettendo che le stratificazioni si producono più facilmente con i gas combustibili, attribuiva il fenomeno alla combustione di tali gas con le tracce d'aria rimaste nel tubo; ma in tal caso le stratificazioni dovrebbero scomparire dopo un certo tempo, consumandosi tutto l'ossigeno comburente, e l'esperienza non sembra confermare questa conseguenza.

Reitlinger ammise che le stratificazioni sono dovute a delle azioni chimiche, combinazioni e decombinazioni simultaneamente. In appoggio di tale idea osservava che gli strati non si formano nei gas semplici, come l'azoto, e che basta introdurre in questo gas tracce d'idrogeno affinchè le stratificazioni appaiano. Similmente nel vuoto barometrico, non racchiudente che vapore di mercurio, egli otteneva soltanto una luce bianca, omogenea, non stratificata; ma l'introduzione di tracce d'aria faceva subito apparire le stratificazioni. Questa ipotesi per la spiegazione del fenomeno è molto difficile a verificare con l'esperienza, per la immensa difficoltà che si trova nell'introdurre nel tubo gas assolutamente puri; tuttavia esperienze recenti del Baly, che riporteremo più innanzi, confermerebbero questo modo di vedere di Reitlinger.

Quetten e Seguin pensarono invece che la colonna gassosa compresa nel tubo, si divida prima della scarica, per influenza dell'elettrodo, in una serie di strati di segni alternativamente contrari, analogamente a ciò che succede nei corpi cattivi conduttori: tali zone poi scaricandosi ciascuna con la collaterale nell'atto della scarica degli elettrodi, produrrebbero una serie di sezioni luminose separate da zone oscure. Applicando alle estremità d'una lastra di vetro coperta d'un fine strato di polvere di carbone, i due fili tra i quali scocca la scintilla, si vedono i grani di polvere mettersi in movimento, e finalmente ordinarsi in una serie regolare di striscie trasversali, separate da piccoli intervalli, che richiamano le apparenze della luce stratificata.

Secondo De la Rive poi la stratificazione dipenderebbe da un avvicendarsi di contrazioni e di espansioni della colonna gassosa, prodotte dalla serie di scariche più o meno discordi che costituiscono ciascuna scarica del rocchetto. Le scariche elettriche consistono certamente in un fenomeno discontinuo, come lo provano le esperienze di Feddersen; e secondo l'ipotesi di De la Rive le stratificazioni consisterebbero in un fenomeno analogo alle onde sonore, vale a dire in un fenomeno meccanico proveniente da una successione di impulsi isocroni esercitati sulla colonna gassosa rarefatta, il che ha qualche analogia colla teorica di Grove.

Müller e De la Rue hanno nuovamente studiato il complicato fenomeno: nei loro esperimenti il tubo non era permanentemente chiuso, ma se ne faceva variare il grado di vuoto con una pompa, e la corrente era fornita da una pila di 11 000 coppie al cloruro d'argento. Per meglio osservare il fenomeno luminoso, si circondava il tubo con un cartone, il quale aveva una fessura longitudinale larga poco più di 2^{mm}, e con uno specchio prismatico, simile a quelli che si adoperano negli apparecchi acustici del König, girevole intorno ad un asse parallelo a quello del tubo, si esaminava se una scarica fosse o non fosse stratificata, se degli strati, apparentemente fermi, in realtà si movessero e da qual parte. Diremo alcuni risultati ai quali i due fisici sono pervenuti:

1.° Gli strati hanno sempre origine all'elettrodo positivo (anodo). Ridotta la pressione del gas ad un limite opportuno, si scorge un'aureola luminosa intorno all'anodo,

la quale finisce per staccarsene portandosi verso il polo negativo (catodo), ed è susseguita da altri strati luminosi che si formano al medesimo posto e le tengono dietro nel movimento.

2.° Spingendo sempre più innanzi la rarefazione, la differenza di potenziale degli elettrodi che occorre alla trasmissione va scemando fino ad un valor minimo, poi torna a crescere. Intanto le stratificazioni che si sono prodotte, si allargano, diminuiscono di numero, finchè si raggiunge una rarefazione tale che manca ogni indizio di trasmissione del gas; il che non toglie che questa possa accadere lungo il vetro.

3.° Con l'intensità della corrente varia il colore degli strati, e varia anche lo spettro loro.

4.° Anche cogli strati apparentemente immobili, si scopre una pulsazione della corrente; non ne segue però che la stratificazione dipenda da tali intermittenze.

5.° I fenomeni luminosi variano secondo le dimensioni del tubo, la qualità e la rarefazione del gas racchiuso e l'intensità della corrente: il diametro del tubo ha un'influenza notevole sull'aspetto e sulla compattezza della stratificazione.

Il fenomeno indicato nel n. 1 ha una certa relazione con la formazione delle scariche globulari ne' gas rarefatti, studiata dal prof. Righi.

§ 30. **Scariche ne' vapori metallici rarefatti.** — Importanti sono l'esperienze di E. Wiedemann sulla scarica ne' vapori metallici rarefatti. I vapori da studiare sono rinchiusi in palloni di vetro, posti fra due anelli di 6 cm. di diametro guarniti di una reticella metallica; gli anelli poi sono messi in comunicazione con i poli di una macchina elettrica a influenza, allontanati l'uno dall'altro di 2 o 3 millimetri.

Se le reticelle toccano il pallone freddo, le scintille scoccano direttamente fra le sferette della macchina; ma se si scalda gradatamente il pallone in modo da rendere il vetro conduttore, la scarica avviene lungo le pareti del vetro, e danno luogo ad una corrente continua.

Se allora si allontanano un poco le reticelle suddette, piccole scintille scoccano fra esse e il pallone, e scariche oscillatorie attraversano il vapore, che diventa luminoso. Regolando convenientemente la distanza degli anelli, e dando al vapore una pressione determinata, ottenuta riscaldando più o meno il pallone, si osservano tutte le particolarità delle scariche ne' gas rarefatti: vale a dire si osserva un primo straterello k di luce catodica, seguito dalla zona oscura; poi un' aureola g_1 g_2, un altro intervallo oscuro d, poi la luce positiva stratificata p (fig. 46). Quando gli anelli fanno da condensatori all' apparecchio di Lecher (§ 18) che compie regolari oscillazioni, si osserva la luce catodica a tutte e due l'estremità del pallone, mentre nel mezzo brilla la luce positiva, come nei gas.

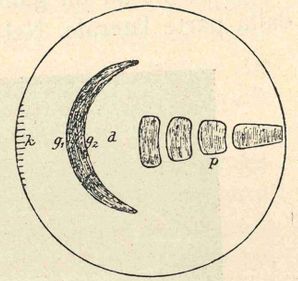


Fig. 46.

I colori osservati variano con la natura del metallo; ecco i principali:

Sodio: k aranciato, g biancastro, p giallo.

Potassio: k e g biancastri, p porpora.

Magnesio: verde intenso da per tutto.

Tallio: k e g bleu chiaro, p verde.

Cadmio: k verde bleu o violetto: g_1 rosa, g_2 violetto, p verde nell'insieme; le parti concave delle stratificazioni sono verdi, le parti convesse violette. La luce positiva è la più povera, l'aureola è la più ricca di linee spettrali.

Zinco: k bleu, g_1 rossastro, g_2 porpora; le concavità sono violette, le convessità rossastre.

Con il cadmio e lo zinco i fenomeni sono più brillanti che con gli altri metalli.

Mercurio: Le differenze fra l'anodo e il catodo sono poco appariscenti.

Arsenico: k biancastro, g bleuastro, p verde.

Tellurio: Bleu da per tutto.

Le differenze segnalate fra le parti anodiche e catodiche della scarica sono meglio accentuate nei vapori dei metalli monovalenti.

§ 31. **Esperienze di Hittorf.** — L'aureola che circonda il catodo sembra essere la sede di una resistenza particolare al passaggio delle scariche; come risulta dalla seguente esperienza dovuta ad HITTORF.

Immaginiamo un tubo di vetro piuttosto largo, 60 mm. di diametro, che contenga 3 fili di alluminio messi nella direzione del suo asse (fig. 47). I due estremi *a* e *c* sono saldati nelle calotte terminali, l'altro *c'* è attaccato perpendicolarmente ad un gambo pure di alluminio che sporge dalla parte laterale. Nel tubo si poteva introdurre un gas

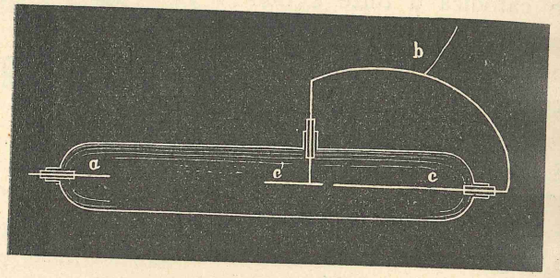


Fig. 47.

qualsiasi e spingervi la rarefazione ad un grado anche elevatissimo. Il filo *a* si collegava al polo positivo del rocchetto: agli altri si attaccavano due reofori *c b*, *c' b*, che congiungendosi in *b* mettevano al polo negativo: così il catodo veniva diviso nei due tratti staccati *c* e *c'*. Uno squisito reometro veniva introdotto ora nell'una, ora nell'altra delle derivazioni *b c* e *b c'*; biforcando allora la corrente tra la spirale del reometro ed un reostato messo in derivazione tra i suoi serrafili, si variava in ogni caso la resistenza rappresentata da quest'ultimo finchè la deviazione dell'ago reometrico fosse portata ad un grado fissato. Essendo la resistenza della spirale dell'istrumento assai grande rispetto a quella del reostato, si poteva ammettere, con molta approssimazione, che le correnti nelle due derivazioni *c b*, *c' b* fossero inversamente proporzionali alle resistenze reostatiche che si erano rispettivamente dovute adoperare, per ridurre la deviazione al grado convenuto.

Il tubo conteneva dell'aria, che è il gas più adatto per questo genere di osservazioni, causa la spiccata differenza di colore che con essa presentano i fenomeni luminosi ai due elettrodi. Fintanto che in un tubo simile la rarefazione non si spinge al di sotto di un certo segno, corrispondente alla pressione di 4 o 5 mm. di mercurio, si osserva una larga striscia di luce rossa che partendo dall'anodo si dirige verso il catodo, e talvolta ne oltrepassa l'estremità avviluppandolo per qualche tratto; ne resta però sempre separata, per mezzo di un intervallo oscuro più o meno largo, nel mentre una luce azzurro-violetta si mostra all'estremità del catodo. Diminuendo maggiormente la pressione, la luce rossa comincia a ritirarsi, e quella violetta invece a distendersi coprendo a poco a poco con un inviluppo uniforme l'elettrodo negativo. Quando poi la pressione scende sotto i 2 mm., il ritrarsi della luce rossa da una parte e l'estendersi di quella violetta dall'altra, avviene con singolare celerità. In un tubo largo 6 cm. il catodo, formato da un filo della lunghezza di 82 mm., s'era completamente rivestito del detto inviluppo, allorchè la pressione era calata a $^1/_3$ di mm.; intanto che la luce violetta si stende sul catodo, si diffonde all'ingiro di esso una nebulosità grigio-azzurra che invade lo spazio circostante, e poco alla volta riempie anche i tubi più larghi. Quando essa raggiunge la parete o la superficie di un altro corpo di sostanza adatta, vi eccita la fosforescenza: alle maggiori diradazioni, tutta la capacità è riempiuta dalla nebbia grigiastra.

Ora, sperimentando con l'apparecchio poc'anzi descritto, Hittorf trovò che quando la densità dell'aria era ridotta a segno tale che i due fili *c* e *c'* apparissero coperti dell'inviluppo violetto su tutta la loro estensione, d'allora in

poi le correnti nelle due derivazioni si mantenevano nel rapporto delle lunghezze di quei due fili, la qual cosa, come si è detto, significa che la resistenza al passaggio delle scariche ha luogo, nelle dette condizioni di rarefazione, quasi per intiero nel catodo.

§ 32. **Elettrolisi nei gas.** — Abbiamo innanzi accennato a esperienze recenti di Baly: questi esaminando allo spettroscopio un tubo contenente delle tracce d'idrogeno rarefatto e attraversato dalle scariche di un rocchetto, ha osservato le righe dell'idrogeno assai nette in vicinanza del catodo, mentre esse erano invisibili in ogni altra parte del tubo. In seguito a tale osservazione Baly ha intrapreso una serie di esperienze per riconoscere se il medesimo fenomeno si produce anche quando l'idrogeno è mescolato con altri gas, e in generale per studiare il modo di comportarsi delle mescolanze gassose rarefatte sotto l'azione delle scariche elettriche. I tubi impiegati avevano circa 25 cm. di lunghezza, e 2 cm. di diametro esterno; gli elettrodi erano formati con un filo d'alluminio. I gas erano preparati con estrema cura, e la loro pressione, regolata con una pompa a mercurio, variava da 14 mm. a $^1/_4$ di mm. Le prime prove furono fatte sopra mescolanze in proporzioni diverse di idrogeno e anidride carbonica, sotto la pressione di $^3/_4$ di mm. circa. Il primo effetto della scarica era quello di far apparire in tutta la lunghezza del tubo una luce bianca senza stratificazioni, la quale, allo spettroscopio, dava gli spettri sovrapposti dei due gas. Ma dopo pochi secondi la luce al polo negativo diventava rosea; le stratificazioni cominciavano ad apparire, e mentre si constatava l'assenza delle righe dell'idrogeno nella maggior parte del tubo, esse invece apparivano nettissime in vicinanza del catodo. Se s'interrompe la scarica e si rifà l'esperienza dopo qualche ora, si constata lo stesso fenomeno. Sembra dunque che, sotto l'influenza delle scariche, abbia luogo una separazione dei due gas, portandosi l'idrogeno all'elettrodo negativo. Per darne una dimostrazione più evidente, l'autore impiega l'apparecchio rappresentato dalla fig. 48. Esso consta di tre tubi *A, B, C* riuniti con cannelli capillari: l'elettrodo del tubo *A* è un filo di rame che può scorrere nel tubetto capillare che unisce *A* e *B*, sino a venire in contatto con l'elettrodo del tubo *B*. L'apparecchio si riempie con una mescolanza di anidride carbonica e d'idrogeno sotto piccolissima pressione; poi si fa passare la scarica per un lungo tempo, uno degli elettrodi di *C* essendo il polo negativo e gli elettrodi di *A* e di *B*, portati al contatto, il polo positivo. In seguito, con il dardo di una fiamma, si taglia il tubo che riunisce *B* e *C* e si torna a separare l'elettrodo di *A* da quello di *B*: facendo allora passare la scarica nei due tubi separatamente, si constata allo spettroscopio le righe caratteristiche dell'idrogeno in *C*, e in *B* quelle invece dell'anidride carbonica. L'esperienza è stata ripetuta con mescolanze di idrogeno e di altri gas, come l'azoto, l'ossido di carbonio, lo jodio, ecc.: in ogni caso si è verificata questa separazione loro, e l'idrogeno si è sempre portato all'elettrodo negativo.

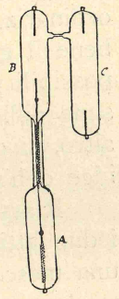


Fig. 48.

Con altre mescolanze accade sempre la detta separazione, ma con maggiore difficoltà quando i loro pesi molecolari sono poco differenti, e si richiede un grado di rarefazione molto più spinto. L'apparire delle stratificazioni sembra in intima relazione con la separazione dei gas, poichè si verifica in modo più netto quando i gas si separano più facilmente. Stando a questo modo di vedere, le stratificazioni non dovrebbero apparire, quando si impedisce la separazione dei gas. Per verificare questa conclusione, Baly si serviva di tubi nei quali un elettrodo sporgeva pochissimo dalle superficie del vetro nel quale era saldato, mentre l'altro elettrodo aveva 4 o 5 cm. di lunghezza come d'ordinario. Operando sopra una mescolanza di idrogeno ed acido carbonico ad una pressione conveniente, egli non ottenne alcuna stratificazione quando si adoperava come elettrodo negativo quello corto;

ma le stratificazioni comparivano subitamente, invertendo il senso della corrente. L'esame d'un gran numero d'altre mescolanze diede sempre gli stessi risultati. Facendo passare la scarica in un tubo, il quale non conteneva che un solo gas o un solo vapore, se è giusta la spiegazione data per la formazione delle stratificazioni, queste non dovrebbero formarsi; ciò è appunto quello che ha osservato il Baly, sperimentando con vapori di mercurio, di solfo, di jodio, d'arsenico: un' estremità del tubo, munito di elettrodi, era unita ad una pompa a mercurio e l'altra ad un' ampolla che conteneva le dette sostanze in ebollizione.

Quando si esperimenta con un gas alla temperatura ordinaria, si osservano quasi sempre le stratificazioni, sebbene il gas sia stato preparato con tutte le precauzioni possibili per averlo puro; ma se si considera la grandissima difficoltà di ottenere un gas senza traccia di alcun altro, si converrà che tale risultato non può infirmare le idee dell'autore relative alle stratificazioni.

Riassumendo, queste esperienze mettono in evidenza i due fatti seguenti: 1.° le scariche elettriche, attraversando una mescolanza gassosa rarefatta, separa i gas, trasportandone uno verso l'elettrodo negativo: 2.° le stratificazioni sono dovute alla separazione dei due gas e non possono prodursi in un gas o in un vapore puri.

Si devono al prof. J. J. Thomson di Cambridge, importanti lavori sulla quistione dell'elettrolisi dei gas, che presenta non poche difficoltà sperimentali a cagione della rapidità con cui si mescolano per diffusione i prodotti dell'elettrolisi.

Riferiremo qui un' esperienza tipica dell'eminente autore: un tubo a forma di *U* (fig. 49) con un vano capillare contiene il gas. Le estremità di questo tubo ricurve ad angolo retto, in modo da essere parallele tra loro, portano gli elettrodi e possono essere poste dinanzi alla fenditura di uno spettroscopio per l'analisi dei prodotti dell'elettrolisi: la scarica è fornita da una bobina di Ruhmkorff. Con l'acido cloridrico, l'anodo dopo poche scariche è circondato da un' aureola d' un bel verde prodotta dal cloro, mentre il catodo è circondato da una aureola rossa che mostra nettamente le righe dell'idrogeno. L'intensità dei due colori aumenta gradualmente, poi i due colori penetrano l' uno nell' altro, si mescolano, e finalmente la sola tinta rossa domina in tutta la lunghezza del tubo mostrando che il solo idrogeno partecipa alla scarica.

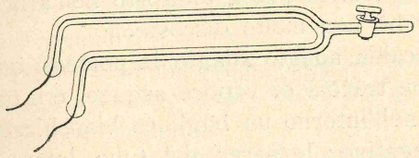


Fig. 49.

§ 33. **Raggi catodici.** — Abbiam detto che al progredire della rarefazione dell'aria in un recipiente, la lunga striscia rossa che si spicca dal polo positivo (anodo) comincia a ritrarsi, mentre l'aureola che circonda il polo negativo (catodo) si estende sempre più insieme con lo spazio oscuro che separa le due luci: il distendersi della

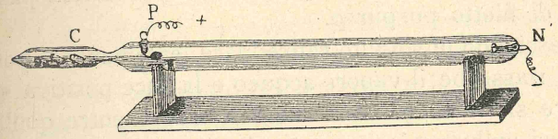


Fig. 50.

luminosità del catodo e il ritrarsi della luce positiva si effettuano con rapidità tosto che la pressione scenda sotto i 2 mm. di pressione. Quando si voglia studiare il fenomeno fino alle rarefazioni estreme, è d' uopo disporre di una buona tromba a mercurio come quella di Sprengel, per mezzo della quale si possa ridurre la pressione a un milionesimo circa di atmosfera soltanto.

In mancanza di tali mezzi si può ricorrere ad un tubo come quello rappresentato dalla fig. 50: esso consiste in

un tubo di vetro, munito dei soliti elettrodi di platino *P*, *N*, per la trasmissione delle scariche; con una pompa a mercurio vi è stata spinta la rarefazione ai gradi estremi, mentre si scaldava la bolla *C* che comunica con il tubo e contiene della potassa. La potassa di poi, raffreddandosi, ha assorbito le ultime traccie del vapore acqueo residuo, e reso il vuoto ancora migliore.

Se si mette questo tubo in derivazione con uno spinterometro, la scarica passa piuttosto nell'aria libera fra le palline, purchè non molto discoste.

Se si scalda adagio adagio la potassa, questa abbandona qualche traccia di vapore acqueo, e il tubo comincia a mostrare nell'interno un bagliore bianchiccio, che parte dal polo negativo; le pareti del tubo intanto diventano fluorescenti, e splendono di luce verde o azzurra secondo la qualità dei vetri. Continuando a riscaldare la potassa, e in conseguenza ad aumentare la densità dell'aeriforme, la fluorescenza s' indebolisce e una prima nube si stacca dal polo positivo, seguita da altre, e così si stabiliscono le stratificazioni: intanto la luce emessa dal polo negativo e l'intervallo oscuro che la separa dall' altra, si ritraggono sempre più verso questo polo, finchè la scarica passa in forma di filetto purpureo.

Lasciando in seguito raffreddare lentamente la potassa, questa riassorbe il vapore acqueo e la luce positiva si raccorcia e si ritrae verso il suo elettrodo, mentre quella negativa si sviluppa insieme con la fluorescenza da essa destata, e guadagna lo spazio che l'altra abbandona.

Vi sono dunque due stadii ben distinti: la luce positiva prevale per rarefazioni moderate sino ad un certo limite, che sembra coincidere con la conduttività massima dell'aeriforme; poi, sino alle rarefazioni estreme, è la luce catodica che prende il sopravvento.

Queste due forme della scarica sono ben diverse. La luce positiva va a cercare l'elettrodo negativo seguendo tutte le sinuosità del tubo: bellissimi sono gli effetti che presentano i tubi di Geissler, che come quello della fig. 45

consistono in cannelli di vetro di forma svariatissima, terminati alle estremità da bolle cilindriche o sferiche dove penetrano due fili od elettrodi di platino. Il tubo ermeticamente chiuso contiene aria o qualche altro gas, alla pressione di pochi millimetri di mercurio: trasmettendovi le scariche di una macchina ad induzione o quelle di un rocchetto di Ruhmkorff, esso s' illumina di una bella e viva luce, che partendo dall' anodo va al catodo, dal quale è separato dal solito intervallo oscuro, e disegna in tratti di fuoco tutti i meandri del tubo.

La luce è purpurea coll' aria, cremisi coll' idrogeno, rossa con l' azoto, bianco-violetta con l' ossigeno, bianco-azzurra coll'anidride carbonica.

Si nota che particelle metalliche vengono strappate dai fili e proiettate contro le pareti delle bolle che li circondano.

Queste luci ricche dei raggi più rifrangibili sono particolarmente atte ad eccitare la fosforescenza di alcune sostanze: si ottengono perciò magnifici effetti, foggiando i cannelli col vetro di uranio che ha una fluorescenza giallo-verdastra, o circondando il tubo con liquidi fluorescenti.

La luce negativa va invece diritta, normalmente alla superficie del suo elettrodo, senza che abbia importanza alcuna il posto dell' elettrodo positivo, e là dove colpisce il vetro desta la fluorescenza.

Queste particolarità si rendono evidenti coi tubi di Crookes della fig. 51. Due globi di vetro hanno ciascuno tre elettrodi filiformi *B*, *C*, *D* che comunicano col polo positivo, ed uno concavo *A* che comunica con il polo negativo. Nel primo globetto la pressione residua supera i 2 mm., e compariscono tre archi luminosi che vanno dagli elettrodi positivi a quello negativo; nel secondo la pressione è circa di 1 milionesimo d' atmosfera, e dal catodo partono delle radiazioni che, dopo essersi incrociate, vanno dritte sulla parete di fronte destandovi la fluorescenza.

Codesto fascio di raggi catodici possiede altre proprietà singolari che vennero studiate ed esposte da Hittorf, e che fornirono a Crookes la base della sua ipotesi sopra un quarto stato fisico della materia, detto DELLA MATERIA RADIANTE.

§ 34. **Cenni sulla costituzione cinetica dei gas.** — Secondo la teorica della costituzione cinetica dei gas, le molecole di questi, in grazia di una certa libertà di movimento, dovuta alle distanze relativamente grandi che

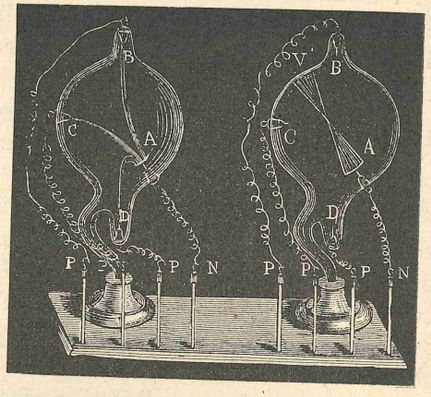


Fig. 51.

intercedono fra esse, si muovono in linea retta in tutte le direzioni, e non ne deviano se non quando s' incontrano in altre.

Tali collisioni delle molecole possono considerarsi o come urti veri e propri di corpi perfettamente elastici, ovvero, il che è più probabile, come inflessioni delle loro traiettorie, analogamente a quanto succede delle comete con orbite aperte in prossimità di un sole. Così le loro traiettorie risultano per la massima parte rettilinee, piegandosi soltanto nelle collisioni per un tratto relativamente piccolo.

Comunque sia la cosa, la velocità di una molecola qualsiasi deve variare col tempo a cagione delle dette collisioni, in modo però che la somma delle forze vive molecolari rimanga costante, se la massa gassosa non farà scambio di energia coll' esterno, vale a dire se non sarà riscaldata o raffreddata.

L'insieme degli urti che tutte queste molecole esercitano, come altrettanti piccolissimi proiettili, sopra una parete, costituisce la pressione dell'aeriforme; la quale si ripartirà uniformemente in ogni direzione, perchè a cagione del numero grandissimo delle molecole contenute in un recipiente, quelle che in un dato tempo passano in un piano ideale in un verso, devono, nello stato di equilibrio della massa, pareggiare le altre che vi passano in verso opposto, e la forza viva media di una di esse sarà uguale a quella di tutte le altre.

S' intende da questo che col numero delle molecole presenti in un dato spazio debba crescere il numero degli urti, e che in conseguenza ad una maggiore densità corrisponderà una maggiore pressione (legge di Boyle). Se poi si riscalderà la massa gassosa, il che equivale ad aumentare la forza viva molecolare media, quando il volume non varii, gli urti cresceranno di numero e saranno anche più poderosi, onde ne risulterà un aumento di pressione (legge di Régnault). Con il calcolo si valuta la velocità media delle molecole di ogni gas, la quale dipende solo dalla temperatura, e aumenta con essa: tale velocità è maggiore nei gas più leggeri, è massima per l'idrogeno le cui molecole, alla temperatura di 0^0, hanno una velocità di circa 1800 metri, quattro volte quella di una palla da cannone a un dipresso. Gli altri gas hanno velocità molecolare minori, ma pur sempre molto grandi. Ora con velocità così enormi parrebbe che i gas dovessero invadere un ambiente in un tempo brevissimo, che gli odori si dovessero propagare con grande rapidità, mentre questo non accade. La ragione del fatto è facile a trovarsi: una molecola gassosa, sebbene dotata di grande velocità, non può percorrere un brevissimo tratto senza fare un gran numero di collisioni colle altre molecole, che occupano lo

spazio; epperò il cammino da essa realmente percorso in ciascuna unità di tempo è relativamente piccolo, sebbene la velocità sia grandissima. Così è che si può travasare l'anidride carbonica ben più pesante dell'aria, da una provetta all'altra.

§ 35. **Materia radiante.** — Ora ritornando alle scariche elettriche nei gas rarefatti, allorchè la rarefazione è spinta ad un limite sufficiente, appare, come s'è detto, a contatto del catodo uno spazio oscuro, il quale si va sempre più allargando col diminuire della pressione, fino a riempire tutta la capacità del recipiente. Codesto spazio oscuro, secondo la opinione di Crookes segnerebbe, a ciascuno istante, il limite di distanza a cui le molecole gassose, elettrizatesi negativamente a contatto del catodo e poi respinte da esso in direzione normale alla sua superficie, arrivano senza imbattersi in nessun ostacolo, senza incontrare neppure delle altre molecole gassose. Dove avvengono urti o con altre molecole o colla superficie di corpi solidi, la trasformazione di energia che ne consegue è indicata da fenomeni luminosi.

È naturale poi che le traiettorie libere delle molecole proiettate dal catodo debbano essere tanto più estese quanto più il gas sarà diradato, poichè tanto meno frequenti vi saranno le collisioni. Crookes appoggiandosi alla teoria cinetica degli aeriformi, accennata innanzi, ha calcolato che una molecola, ai limiti di estrema rarefazione, possa correre un tratto di parecchi centimetri senza fare collisioni con altre. Alla pressione di un milionesimo di atmosfera circa, la condizione degli aeriformi è ben diversa che sotto la ordinaria pressione. In allora le proprietà distintive delle varie sostanze aeriformi vanno a cancellarsi; allora la maggior parte delle molecole possono attraversare il recipiente da un capo all'altro senza imbattersi in altre molecole; allora esse, colpendo gli ostacoli che loro si paran dinanzi, producono, a seconda delle circostanze, la fosforescenza, il riscaldamento, il lavoro meccanico a spese della loro forza viva. A questo stato fisico particolare degli aeriformi, Crookes ha dato il nome di MATERIA RADIANTE.

§ 36. **Proprietà dei raggi catodici.** — Vediamo ora alcune proprietà de'raggi catodici, messe in evidenza dal Crookes con elegantissimi esperimenti.

I raggi catodici esercitano una cospicua azione fosforescente sui corpi che ne sono colpiti. Questa proprietà era già stata segnalata da Hittorf nella luce vaporosa che si diffonde intorno al catodo, e che arrivando alla parete vitrea la rende fluorescente. Il colore della fluorescenza dipende dalla qualità del vetro: è verde scuro col vetro d'uranio, azzurro col vetro inglese, verde pomo con quello di Germania. Le sostanze capaci di fosforescenza, quando sono colpite dalla scarica del catodo, brillano d'una insolita e viva luce. Per fare l'esperienza, si possono disporre in fondo ad un palloncino munito di elettrodi, come quello della fig. 52: il solfuro di calcio manda una luce azzurrognola, il corallo calcinato splende di una luce verde o carnicina, il rubino brilla di una luce rossa splendidissima, il diamante di luce verde, ecc.

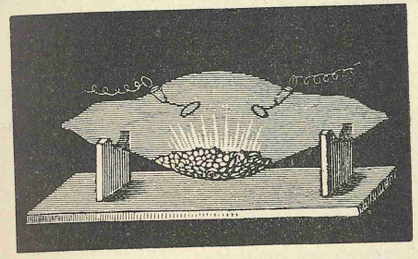


Fig. 52.

In molti de' suoi apparecchi Crookes introdusse dei diaframmi spalmati di materia fosforescente, e ne fece radere la superficie dai raggi catodici allo scopo di renderne visibile la traiettoria, la quale altrimenti, con un vuoto molto spinto, è oscura.

I raggi catodici si propagano in linea retta indipendentemente dalla posizione dell'anodo. Questa loro proprietà è dimostrata dal fatto, che col secondo tubo della fig. 51

la macchia fluorescente si vede sul vetro dirimpetto al catodo, vale a dire nella regione anticatodica; codesta macchia indica evidentemente il luogo colpito dai raggi catodici. La stessa proprietà era stata dimostrata da Hittorf coll'apparecchio rappresentato dalla fig. 53, il quale consiste in un tubo di vetro munito di due elettrodi puntiformi, coperti

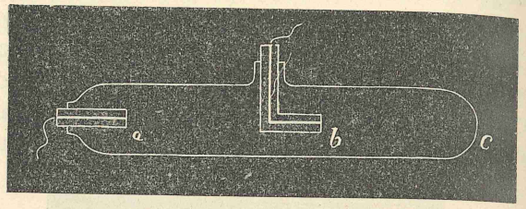


Fig. 53.

cioè di una guaina coibente fino alla punta: uno di essi *a* penetra ad una estremità nel tubo secondo l'asse di questo; l'altro *b* è inserito lateralmente, e piegandosi a squadra secondo l'asse, volge la punta verso l'estremo *c* del tubo opposto ad *a*. Quando la rarefazione è abbastanza spinta, se *b* funziona da catodo, il fascetto che ne diverge si dirige verso *c*; se *b* funziona d'anodo, la luminosità che ne esce si piega invece all'indietro verso *a*, mentre quella che deriva da *a* oltrepassa la posizione di *b*.

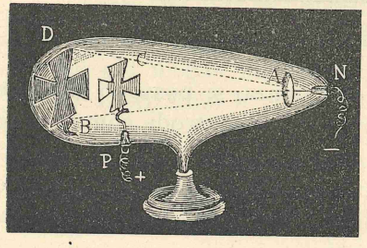


Fig. 54.

Hittorf aveva pure osservato che un oggetto, messo sulla traiettoria dei raggi catodici, getta la propria ombra in mezzo al campo fosforescente della parete opposta. Questa nuova conferma dell'andamento rettilineo dei raggi catodici è presentata da Crookes in modo molto elegante con il tubo periforme della figura 54, nel quale il catodo è il dischetto piano *A* di alluminio, e fa l'ufficio di anodo una croce parimenti di alluminio, con gambo snodato.

Quando la croce è eretta, la sua ombra spicca in contorni netti sul fondo splendente del tubo.

Un fatto curioso scoperto dallo stesso Crookes è questo: se si abbatte la croce, dopo che la scarica è passata per qualche tempo, la croce spicca in chiaro sul fondo più debole; il che indica che alla lunga la proprietà fosforogenica del vetro si indebolisce. Anzi l'ombra rimane per così dire incisa sul vetro: difatti Crookes, aperto il recipiente, scaldò al cannello la regione anticatodica finchè il vetro rammollito accennasse a deformarsi; poi ridata, soffiando, la primitiva forma al tubo, rifatto il vuoto e facendovi di nuovo passare le scariche del rocchetto, la figura luminosa

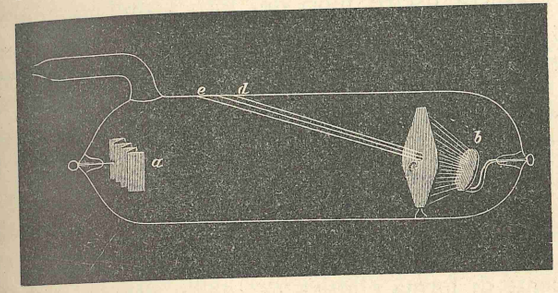


Fig. 55.

della croce, sebbene questa fosse stata rimossa, riapparve di nuovo.

Un altro argomento in favore della propagazione rettilinea e normale alla superficie del catodo si deduce dalla seguente esperienza di Goldstein, dalla quale risulta che si riproducono nella fosforescenza del vetro gli accidenti della superficie del catodo: se si prende per catodo una moneta, per esempio, o una medaglia, si può distinguerne l'impronta in mezzo alla luce fluorescente.

Crookes, con nuovi esperimenti suggeriti da Maxwell, confermò il diverso modo di comportarsi della scarica negativa, secondo il diverso grado della rarefazione. Il tubo (fig. 55) ha per elettrodi due laminette di alluminio, di cui quella *a* è piegata a guisa d'un paravento, l'altra *b* è un

dischetto obliquo rispetto all'asse del tubo; *c* poi è uno schermo di mica normale all'asse e con un piccolo foro *f*. Se *a* funziona da catodo, si osserva che, con una rarefazione moderata, esso è circondato da un'aureola luminosa con lievi inflessioni davanti a ciascuna piegatura, e che fiocchi azzurri paralleli all'asse si spiccano dagli angoli rientranti. Alle maggiori rarefazioni invece, l'aureola svanisce e con essa svanisce pure la luce dei raggi azzurri, ma sulla parete laterale si designano con linee fosforescenti ellissi, che sono intersezioni delle pareti del tubo con piani perpendicolari alle facce degli angoli diedri. Ove poi si prenda *b* per catodo, con una rarefazione mediocre si vede un fascio di luce azzurra uscire fuori del foro *f*, obliquamente alla parete; ogni luce scompare spingendo la rarefazione all'estremo, e allora sulla parete si osserva una macchietta

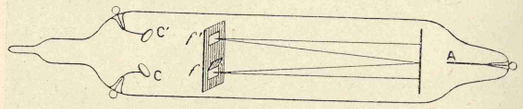


Fig. 56.

fluorescente di forma ellittica, nel posto determinato da un fascio perpendicolare al disco e passante per *f*. Ne consegue che se il catodo è foggiato a calotta sferica od a segmento cilindrico, i raggi catodici convergeranno ad un fuoco che sarà il centro della sfera nel primo caso e sarà lineare nel secondo.

Secondo Crookes, due raggi catodici vicini si respingono a vicenda, cosicchè non possono considerarsi come correnti parallele e concordi. Per dimostrare questa proprietà, egli adoperava un tubo cilindrico che ha ad un capo un elettrodo filiforme *A* come anodo, e all'altro capo due dischetti *C*, *C'*, destinati a servire da catodo, simmetrici rispetto all'asse, e inclinati verso di questo (fig. 56): davanti a ciascuno di essi si trova una sottile fenditura praticata in un diaframma. I due fasci di raggi, uscendo dalle due fenditure, segnano la loro via per mezzo di traccie luminose

che essi lasciano sopra una lastra fosforescente, posta lungo il tubo, in modo da dimezzarlo, ad angolo retto col diaframma delle fenditure. Se si prende *successivamente* l'uno e l'altro dei dischi per catodo, si osserva che gli assi dei fasci dei raggi sono fortemente inclinati sull'asse del tubo, e si tagliano a breve distanza dal diaframma: se al contrario si prendono *simultaneamente* i due dischi come catodi, gli assi dei due fasci si allontanano come se si respingessero, e diventano paralleli.

Wiedemann ed Hebert hanno modificato più tardi l'apparecchio di Crookes, ponendo dinanzi ad una delle fenditure del diaframma un piccolo otturatore, mobile attorno ad una cerniera. Essi hanno così trovato che con una fenditura chiusa in modo da intercettare uno dei fasci, l'altro era deviato come succede quando entrambi si propagano liberamente. Gli autori ne hanno concluso che la esperienza di Crookes non dimostra punto la repulsione dei raggi catodici paralleli.

Partendo da questa idea che i raggi catodici non si respingono punto al di là del diaframma, ma che quelli emessi da uno dei catodi sono respinti dall'azione dell'altro catodo al di quà del diaframma, Goldstein si è proposto di vedere se l'interposizione di uno schermo tra i due catodi facesse scomparire la suddetta divergenza. A tale uopo egli poneva uno schermo di mica fra i due catodi, e sopprimeva la lastra fosforescente lungo il tubo, osservando soltanto le due immagini fluorescenti prodotte sul fondo del tubo di vetro dalle radiazioni de' catodi in questione. Così egli potè vedere che, senza il detto schermo, i fasci si tagliavano a breve distanza quando erano prodotti successivamente, e invece si tagliavano ad una maggiore distanza quando erano prodotti simultaneamente, e ciò è d'accordo con l'osservazione di Crookes: ma interponendo lo schermo di mica suddetto tra i due catodi, ed eccitandoli simultaneamente, i fasci si tagliavano come prima a brevissima distanza e non erano più deviati, il che conferma il modo di vedere di Wiedemann ed Hebert.

Ma d'altra parte, se i raggi catodici non si influenzassero reciprocamente, nella loro propagazione, foggiando il catodo a specchietto sferico nel tubo periforme della fig. 54, e ponendo la croce fra lo specchio e il suo centro di curvatura, l'ombra della croce dovrebbe presentare l'immagine rovesciata rispetto al gambo che la regge, come succede con la luce ordinaria; invece il Weber ha per il primo osservato che l'ombra della croce è diritta. In generale un oggetto A dà la sua ombra B senza rovesciamento (fig. 57): bisogna quindi ammettere che i raggi non s'incrocino, ma nel vertice V del cono accada una specie di contrazione, ossia qualche cosa di simile alla contrazione di una vena liquida.

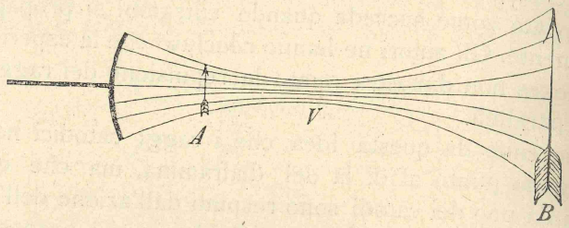


Fig. 57.

Così ciascun raggio catodico non si propagherebbe in linea retta, ma secondo una linea un po' curva: del resto anche Goldstein ha provato che la propagazione de'raggi catodici non è, a tutto rigore, rettilinea. Per convincersene, basta osservare la macchia di fluorescenza nella regione anticatodica, la quale cambia di posizione, di estensione, e di forma, col cambiare della pressione nell'interno del tubo. Goldstein adoperando catodi di varia foggia, otteneva figure fluorescenti non simili ad essi, ma diverse a seconda del grado di rarefazione, e della maggiore o minore distanza loro dalle pareti del tubo.

I raggi catodici sono deviati da una calamita. Tale influenza di una calamita sul fascio de'raggi catodici in un tubo ad aria diradatissima, venne primamente osservata

da Hittorf: questi dai molteplici suoi esperimenti aveva conchiuso che i raggi catodici si comportano a guisa di reofori rettilinei flessibilissimi, obbligati con un capo al catodo, e liberi all'altro capo di appoggiarsi ad un punto qualunque della parete di vetro, e perciò pronti ad ubbidire all'azione delle forze magnetiche, senza alcuna dipendenza dalla posizione dell'anodo.

Appressando il polo di una forte calamita al tubo della (fig. 54), si vede spostarsi l'ombra della croce sulla parete fluorescente del vetro.

Crookes ha pure studiato l'azione magnetica sui raggi catodici, coll'artifizio dello schermo fosforescente rasentato

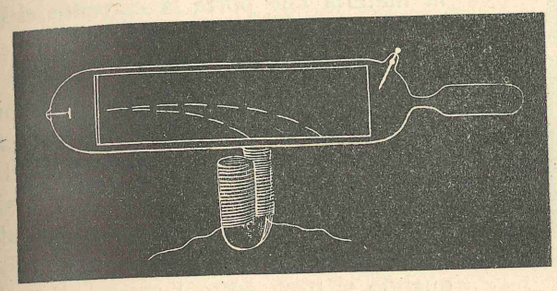


Fig. 58

da essi (fig. 58). Accostando di fianco al tubo un potente magnete, rispetto al quale l'asse del fascio sia nel piano equatoriale, normale cioè alla retta che ne congiunge i poli, come indica la figura, i raggi si curvano in basso o in alto secondo la posizione dei poli, e paiono reofori flessibili che ondeggiano, se il magnete viene mosso innanzi e indietro a contatto del tubo. Ripetendo poi l'esperimento con un tubo provvisto da un'appendice contenente potassa caustica, che col riscaldamento permette di variare il grado di rarefazione dell'aeriforme, Crookes osservò che l'azione deviatrice della calamita si faceva più sentita a misura che diminuiva la rarefazione. Il che è d'accordo colla sua ipotesi della materia radiante, perocchè colla maggiore densità il mezzo oppone una maggior resistenza alle molecole gas-

sose, lanciate a guisa di proiettili dalla superficie del catodo, dopo essersi elettrizzate negativamente a contatto di essa.

Mentre nei metalli la trasmissione dell'elettricità si fa da molecola a molecola, e negli elettroliti la corrente scinde le molecole e l'elettricità si muove insieme con i ioni, che sono i prodotti della decomposizione, bastando, affinchè la corrente si stabilisca, la benchè minima differenza di potenziale; nei gas invece sono le molecole stesse che trasportano con sè l'elettricità, e la trasmissione della corrente richiede una differenza di potenziale in generale considerevole, che dipende dalle condizioni dell'aeriforme.

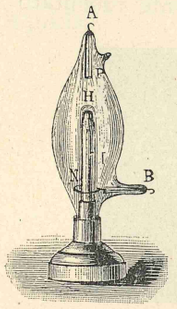


Fig. 59.

Ma comunque avvenga la trasmissione, la materia che porta la corrente elettrica va soggetta costantemente alle medesime azioni magnetiche: cosicchè il filetto purpureo che esce dall'anodo, in un recipiente dove si sia praticata una moderata rarefazione, si comporta come un fascio di reofori lineari flessibilissimi percorsi da correnti dirette da quell'elettrodo al catodo. Onde un brevissimo tratto del filetto, quando si trovi sotto l'azione d'un polo magnetico, si dirige a seconda della forza magnetica in quel punto; epperò introducendolo in un campo magnetico abbastanza intenso, esso, si disporrà a seconda delle linee di forze, e disegnerà in tracce luminose l'andamento loro nel campo. Il filetto luminoso può anche concepire un moto di rotazione, come succede nell'apparecchio di De-la Rive: siffatto apparecchio consiste in un palloncino ovoide (fig. 59) col fondo rientrante a guisa di campanetta *H*: in cima v'è un elettrodo filiforme *P*, ed uno anulare *M* circonda la campanina *H*; in questa si introduce un cilindretto di ferro dolce *I*, che appoggiandosi sopra il polo d'una elettrocalamita ne diventa un'espansione.

Le scariche d'induzione ascendenti gireranno, se *I* è un polo nord, da sinistra a destra sul davanti della figura:

la luce positiva quindi si comporta come un reoforo flessibile, obbligato con i suoi capi agli elettrodi. La luce negativa invece, la quale prevale nei tubi di Crookes e di Hittorf estremamente rarefatti, obbedisce pure alle azioni magnetiche, ma si comporta a guisa di un fascio di reofori flessibili obbligati per un capo soltanto al catodo, mentre all'altro sono liberi d'appoggiarsi al vetro.

Osserveremo finalmente che un tubo può essere attraversato da scariche alterne, quando è eccitato da una buona macchina di Ruhmkorff, se però nel circuito non vi sia altra interruzione: in quest'ultimo caso le correnti di chiusura sono escluse, perchè ad esse corrisponde una forza

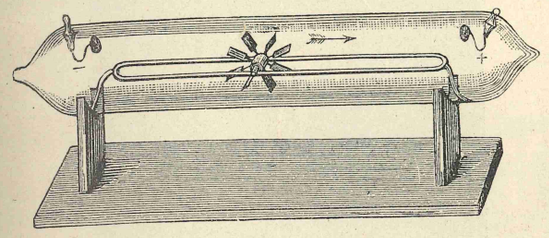


Fig. 60.

elettromotrice minore delle correnti di apertura, e quest'ultime soltanto passano nel tubo.

D'altronde è facile giudicare se le scariche nel tubo sono alternativamente di segno contrario, poichè in tal caso entrambi gli elettrodi si vedrebbero circonfusi dalla luce negativa. Se un tubo invaso da scariche alternate si sottopone all'azione di un'elettrocalamita, la sua luce si divide in due rami, che vanno verso punti opposti della parete: questo fatto si verifica, per esempio, con le scariche dei condensatori, quando esse sono oscillatorie.

Fra le altre trasformazioni dell'energia elettrica dei raggi catodici, v'hanno anche il lavoro meccanico ed il calore. Il mulinello di mica posto su guide di vetro nel tubo della fig. 60 si mette a ruotare sotto l'azione di tali raggi percorrendo il binario, ed anche risalendolo, se il pendio

è leggero, verso l'elettrodo positivo; invertendo la corrente, se ne rovescia il movimento. Lo stesso succede nell'apparecchio della fig. 61 che rassomiglia ad un radiometro: le ali del mulinello sono di alluminio foderate di mica da uno dei lati, e la cupoletta da cui divergono i bracciuoli è di acciaio temprato.

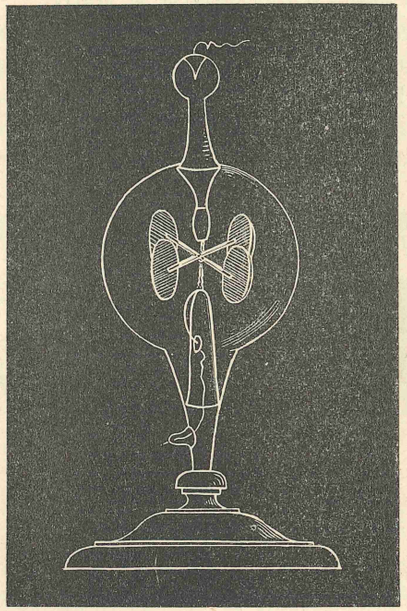


Fig. 61.

Il mulinello insieme colla cupoletta è in bilico su d'un ago da cucire, che forma uno degli elettrodi; l'altro elettrodo è saldato alla sommità del globo. Se il primo di essi si congiunge col polo negativo del rocchetto e l'altro col positivo, il molinello entra in rapida rotazione.

L'apparecchio della fig. 62 è un radiometro ordinario colle alette di mica inclinate di 45° all'orizzonte: bisogna aggiungere un elettrodo filiforme alla sommità ed un anello di filo di platino sotto le alette: prendendo quest'ultimo per

catodo, il mulinello gira con rapidità. Lo stesso movimento si produce arroventando l'anello colla corrente di una pila.

Il prof. Righi ripetendo gli esperimenti con questo apparecchio, osservò che il movimento del molinello persiste anche dopo cessate le scariche: tale effetto è dovuto probabilmente all'inerzia; anzi impedendo la rotazione durante la trasmissione della corrente, il moto può effettuarsi egualmente subito dopo; onde gli parve che la cagione della

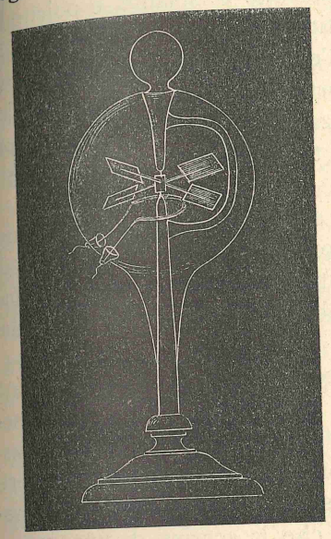


Fig. 62.

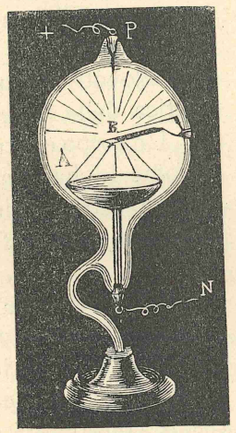


Fig. 63.

rotazione fosse ben diversa dall'impulso dei raggi catodici. Secondo lui la rotazione non ha in questo apparecchio una cagione diversa da quella che la produce nel radiometro ordinario, vale a dire la propulsione al moto sarebbe dovuta al moto delle molecole della massa gassosa residua nell'interno dell'apparecchio.

Quando i raggi catodici sono concentrati sopra una piccola superficie tenuta ferma, questa ne è fortemente scaldata. La laminetta di platino *B* (fig. 63) al centro dello specchio concavo *A* di alluminio comunicante col polo ne-

gativo, mentre *P* funziona da anodo, si arroventa, e giunge fino a fondersi. Se si concentrano i raggi su d'un punto della parete del vetro, questa si riscalda in modo da rammollirsi.

Dall'insieme di queste proprietà de' raggi catodici, Crookes pensa che nei tubi estremamente rarefatti, le molecole gassose possiedano tanta libertà nei loro movimenti, da poterle completamente considerare come indipendenti le une dalle altre. Il vuoto perfetto è isolante, e poichè la presenza di una piccola quantità di materia è necessaria alla propagazione dell'elettricità, l'eminente fisico ne deduce che questa materia ne è il supporto, e che essa è respinta dal catodo; inoltre la fluorescenza, il lavoro meccanico, ecc. sono dovuti ad una parziale trasformazione della energia cinetica delle molecole.

Un corpo elettrizzato, che si muove rapidamente, agisce, siccome lo ha dimostrato Rowland, allo stesso modo di una corrente; e quindi le traiettorie molecolari devono, come altrettanti reofori flessibili, ubbidire all'azione di una calamita.

È interessante di trascrivere il seguente passo di una lettera diretta da Crookes a sir G. G. Stokes, allora segretario della Società reale di Londra; in esso egli riassume così le sue idee: " Una corrente molecolare può sempre essere considerata come il resultato del movimento di molecole isolate, a quella guisa che la scarica di una mitragliatrice consiste in proiettili separati.

" La materia, nel suo quarto stato, è il resultato ultimo dell'espansione dei gas; in grazia dell'estrema rarefazione la traiettoria libera delle molecole è così lunga che le collisioni sono trascurabili a confronto del percorso totale, e la maggior parte delle molecole possono allora seguire il loro proprio movimento senza esserne disturbate: se il cammino medio è comparabile alle dimensioni del recipiente, le proprietà che costituiscono lo stato gassoso sono ridotte a un minimo e la materia raggiunge lo stato ultra gassoso.

" Ma la medesima condizione di cose può ottenersi, se con un mezzo qualunque si isola una quantità limitata di gas, e se, con una forza esterna, si introduce dell'ordine nei moti delle molecole apparentemente disordinati in tutte le direzioni. "

La dottrina della materia radiante e la spiegazione che le serve di base, fondata sullo sviluppo dello spazio oscuro a contatto del catodo, suscitarono subito le maggiori controversie. Puluj ed altri, specialmente in Germania, pensarono che la fluorescenza, il riscaldamento, il lavoro meccanico, anzichè agli urti delle molecole dell'aeriforme, sono da attribuirsi a minutissime particelle strappate dalle scariche alla superficie degli elettrodi, e proiettate in tutte le direzioni: in prova di ciò le pareti dei tubi si ricoprono ben presto di uno strato speculare del metallo, onde il catodo è fatto; il platino, l'argento, l'iridio si vaporizzano molto più rapidamente dell'alluminio, ma anche quest'ultimo metallo si corrode, quando è usato a lungo come catodo. Tale volatilizzazione degli elettrodi era già stata segnalata da Hittorf, il quale per questa ragione preferì sempre nella costruzione degli elettrodi l'alluminio.

Può darsi, come dice il Róiti, che la ragione stia nel mezzo; ma non c'è ancora che ben poco di accertato intorno alle cause da questo brillante, multiforme, complicatissimo fenomeno della luminosità degli aeriformi diradati.

Goldstein a cui si devono molte esperienze sulle scariche elettriche nei tubi estremamente rarefatti, anteriori a quelle di Crookes, aveva constatato che la produzione della luce con i raggi catodici non ha luogo che quando essi incontrano un ostacolo che li intercetti: dalle sue esperienze poi concluse che la causa del fenomeno è puramente ottica, e che la fluorescenza dipende da una trasformazione di radiazioni grandemente rifrangibili in altre più lente.

Goldstein intendeva cioè dire che, siccome le sostanze da lui sperimentate acquistano colori di fluorescenza iden-

tici a quelli che hanno sotto l'azione della luce ordinaria, così la natura di queste due specie di radiazioni deve essere la stessa.

Ma i colori di fluorescenza non sono sempre gli stessi con la luce e i raggi catodici, come ha osservato Wiedemann; e d'altra parte non è lecito dalla identità di alcuni effetti risalire a quella delle cause.

Studiando poi la trasparenza pei raggi catodici di numerose sostanze, Goldstein non ne trovò alcuna che li facesse passare, neppure sotto un debolissimo spessore. Laminette sottilissime di vetro, di spato e di quarzo, queste ultime sì trasparenti per le radiazioni molto rifrangibili, sottoposte ad esperimento, non lasciarono passare la minima traccia di detti raggi.

Indi in una Memoria riassuntiva, di data posteriore a quella di Crookes, Goldstein riferisce il risultato di numerose esperienze, e adduce molti argomenti che sembrano nettamente opposti alle idee del fisico inglese.

Per dimostrare che le radiazioni catodiche non sono dovute alla volatilizzazione degli elettrodi, Goldstein si valse di un tubo con due catodi di platino. Come Crookes egli osservò che i due fasci catodici si respingono verso i loro estremi, e tuttavia la parte del vetro compresa fra essi non tarda a ricoprirsi di un velo nero di platino. Il che prova, secondo lui, che le particelle metalliche proiettate dal catodo non sono una causa della formazione di detti raggi.

Se in un tubo contenente azoto rarefatto si vaporizza all'estremità un po' di sodio, i vapori di questo si diffondono lentamente, ed emettono sotto l'azione dei raggi catodici la luce gialla caratteristica del sodio, mentre il resto del tubo splende di luce rossa. Deviando allora con una calamita i raggi catodici, la luce gialla sparisce. Ora se i raggi catodici fossero dovuti a una proiezione di particelle luminose, la luce loro dovrebbe dare lo spettro del gas che circonda il catodo; ma poichè la luce gialla in questa esperienza è dovuta al sodio, che non proviene dal

catodo, Goldstein ne trae la conseguenza che le molecole luminose in tal caso sono ferme e localizzate in una data regione del tubo. Questa obbiezione non ha però molto fondamento, giacchè, secondo la ipotesi di Crookes, i raggi catodici raggiungono la massima intensità, quando il tubo è oscuro nell'interno; e se i raggi catodici producono luce nella loro traiettoria, ciò si deve attribuire all'incontro delle *molecole radianti non luminose* con quelle che sono relativamente in quiete. Così si deve spiegare la luce rossa dovuta all'incontro dei raggi con l'aria nei tubi non molto rarefatti, e quella gialla osservata da Goldstein con i vapori di iodio, o l'altra osservata da Hertz con i vapori di mercurio.

Ammettendo con Crookes che i raggi catodici siano dovuti a una proiezione di particelle materiali, Goldstein pensa che dovrebbe derivarne un aumento di pressione in una parte ristretta del tubo, colpita da detti raggi.

Volendo verificare la cosa, egli adoperò due tubi di scarica riuniti fra loro col mezzo di un rubinetto, come sono quelli della fig. 64. La pressione è tale che mentre nella strozzatura S del tubo A si producono, al passaggio della scarica, i raggi catodici, nel tubo B di sezione maggiore si producono invece le stratificazioni, se vi passa una scarica indipendente dall'altra. Ove in realtà avvenisse un aumento di pressione nello spazio S, aprendo il rubinetto si dovrebbe osservare uno spostamento degli strati di B, bastando all'uopo una variazione di pressione di $\frac{1}{100}$ di millimetro; ma non si osserva nulla di simile. Tale esperienza non sembra però atta ad infirmare la teoria di Crookes, perchè noi non sappiamo qual'è il numero delle

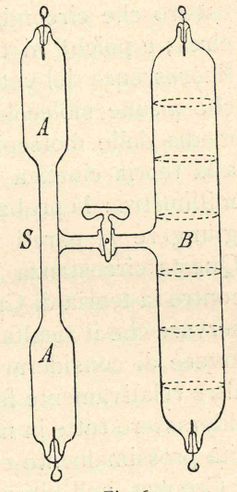


Fig. 64.

particelle proiettate che sono necessarie per produrre un aumento di pressione, e perché le piccolissime variazioni di pressione, se anche si verificano, richiedono un tempo non breve per propagarsi in un gas estremamente rarefatto, in ispecie quando vi sono strozzature e piccoli rubinetti.

Goldstein poi calcolò la probabilità che hanno le molecole gassose di muoversi non disturbate in linea retta. Con una pressione di circa $\frac{1}{125}$ di millimetro, lo spazio oscuro che circonda il catodo si estende per 6 millimetri circa; e poichè in tali condizioni è visibile di già qualche fluorescenza del vetro, si deve supporre, secondo Crookes, che alcune molecole raggiungano le pareti. Ora la corsa media delle molecole in tali condizioni, sarebbe, stando alla teoria cinetica degli aeriformi, appena di 6 decimi di millimetro: la probabilità che una sola molecola possa raggiungere le pareti è 7.10^{-66}, ossia praticamente nulla. Questa circostanza costituisce forse l'argomento più forte contro la teoria di Crookes: a tale proposito è bene però osservare che il risultato del calcolo sarebbe diverso, quando invece di considerare una molecola in moto in mezzo ad altre relativamente ferme, come suppone Goldstein, si considerassero tutte in moto, nella stessa direzione e con velocità prossimamente eguali; al che sembra volesse alludere il Crookes nell'ultimo passo della lettera a sir G. Stokes, da noi sopra riferita.

Goldstein, in base a queste esperienze, che brevemente abbiamo riassunte, esprime la convinzione che i raggi catodici abbiano la loro sede nell'etere, e non nel mezzo materiale che essi attraversano: essi cioè dovrebbero consistere in vibrazioni di brevissima lunghezza d'onda, e la luce sarebbe dovuta ad un energico assorbimento, pel quale tali onde, come ne' fenomeni di fosforescenza, sarebbero trasformate in altre di lunghezza maggiore. Queste conclusioni vennero accettate da E. Wiedemann, e da Hertz, secondo il quale il fenomeno della rotazione del piano di

polarizzazione della luce in un campo magnetico avrebbe analogia con la deviazione provocata da un magnete sui raggi catodici.

Un altro argomento del Goldstein contro le idee di Crookes è questo, che i raggi catodici non presentano il fenomeno di Döppler, vale a dire lo spostamento dei raggi spettrali, il quale è una conseguenza necessaria del movimento dei corpi luminosi.

Si vede così che delle difficoltà si venivano accumulando intorno alle idee del fisico inglese, contro le quali, poco dopo, sorgevano ancora altri illustri fisici tedeschi, che, abbracciando la teoria energetica del fenomeno secondo Goldstein, si argomentavano di meglio precisarla.

In una Memoria comparsa nel 1883 E. Wiedemann enuncia recisamente l'ipotesi che i raggi catodici consistano in radiazioni di piccolissima lunghezza d'onda: Hertz, e più tardi Lenard, seguirono, come vedremo, il medesimo ordine di idee.

Un argomento forte però si eleva contro la teoria puramente ottica del fenomeno: con essa non si sa spiegare la deviazione dei raggi catodici in un campo magnetico. Secondo le idee di Crookes l'azione d'un campo magnetico sui raggi catodici è identica all'effetto Rowland: se la cosa fosse così, sembrerebbe che l'azione dovesse essere reciproca, e tale reciprocità è stata studiata da Hertz.

Prese questi un tubo cilindrico, sull'asse del quale era collocato un catodo forato nel suo mezzo, e attraversato da un tubetto di vetro contenente il filo positivo che ne sporgeva appena a paro della superficie del catodo. Un altro filo, che poteva parimenti essere riunito al polo positivo, era saldato nella parete del tubo opposta al catodo. Facendo funzionare da anodo il primo filo, quello cioè vicino al catodo, i raggi catodici si producevano come d'ordinario normalmente all'elettrodo negativo, mentre la corrente tra i poli, se esisteva, formava un circuito completamente chiuso in modo da non esercitare alcuna azione magnetica all'esterno. Difatti una piccola calamita sospesa

presso il tubo non provava alcuna deviazione apprezzabile: adoperando invece come anodo il secondo filo, essa subiva una forte deviazione.

Lo stesso Hertz sperimentava poi con un tubo piatto, una specie di cassa rettangolare (fig. 65), la cui altezza era piccola rispetto alle altre due dimensioni: l'anodo essendo posto lateralmente per rispetto al catodo, egli determinava la direzione delle linee di forza in ogni punto per mezzo di una calamita assai corta, quasi astatica, sospesa molto vicino alla parete superiore del tubo. Per tali esperienze Hertz adoperava la corrente fornita da un gran numero di piccoli accumulatori Planté. Spostando la scatola al disotto dell'ago magnetico, e determinando per tentativi le posizioni per le quali l'ago non subiva deviazione, quelle posizioni cioè per le quali le correnti avevano direzioni normali alla lunghezza dell'ago, potè costrurre le curve della figura, che in tratti pieni rappresentano le linee di propagazione della corrente; e poichè queste incrociano in tutti i sensi il fascio dei raggi catodici, indicato dalle linee punteggiate, ne concluse che questi raggi non possono essere considerati come i punti di passaggio della corrente. Inclinava poi ad ammettere, che la deviazione dei raggi, da lui considerati come dovuti ad una vibrazione, deve attribuirsi ad una modificazione dello spazio nel quale si propagano, e non già ad una deviazione diretta della calamita. Ma quale possa essere la modificazione del mezzo etereo invocata da Hertz, nè egli, nè altri hanno potuto precisare, e questo è il punto debole della ipotesi.

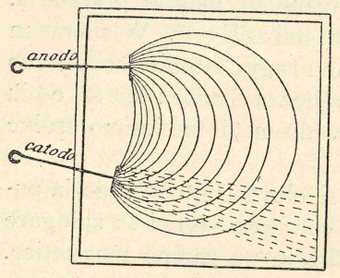


Fig. 65.

§ 37. **Riflessione dei raggi catodici.** — Se si fa passare la scarica in un tubo come quello della fig. 66, prendendo C' come catodo, si osserva in E una macchia

fluorescente, sebbene da E non si veda C. In questa esperienza, dovuta a Wiedemann, Goldstein vede una riflessione dei raggi catodici nella parete concava del gomito x: e per verificare la sua ipotesi, adottò il tubo della figura 67, nel quale i raggi catodici emessi da C battono su una lamina F. Qualunque fosse la natura di questa,

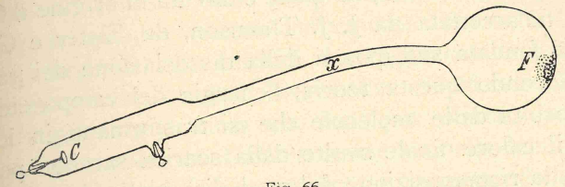


Fig. 66.

si trattasse cioè di sostanze conduttrici o isolanti, egli osservò che da essa emana una radiazione, la quale rende il vetro fluorescente nella parete che le sta dinanzi: e il fatto caratteristico è questo, che i raggi partenti da F non hanno la direzione che assegnerebbe loro la legge della riflessione,

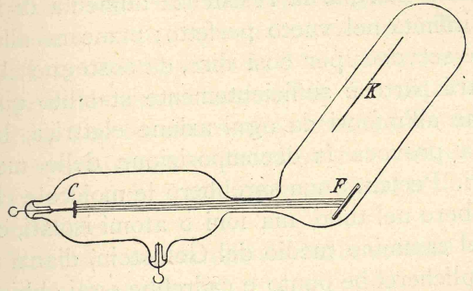


Fig. 67.

ma si propagano in tutte le direzioni. In prova di ciò un filo metallico K posto entro il tubo, proietta sulla parete un'ombra netta se le sta vicino; ma l'ombra diviene sfumata se invece si avvicina ad F.

Il tubo della fig. 67 ha la forma dei tubi *focus*, come oggi si costruiscono per la produzione dei raggi X; ma Goldstein in questa esperienza non vide che una rifles-

sione diffusa dei raggi catodici, e non una trasformazione loro in una radiazione di altra specie: così egli, che aveva toccato la scoperta dei raggi X, non se ne avvide, e ne lasciò la gloria al Röntgen.

§ 38. **Dissociazione dei gas operata dalle scariche.** — Vogliamo anche dire due parole di una teoria della scarica nei tubi rarefatti, la quale è dovuta in origine a Giese, e poi fu accettata da J. J. Thomson, da Elster e Geitel: essa è fondata sull'ipotesi della dissociazione dei gas.

Secondo questa teoria, l'energia del campo elettrico è assorbita dalle molecole che si trasformano in ioni liberi; il calore finale svolto dalla scarica sarebbe poi dovuto alla ricomposizione de'gassi dissociati: si vede che il fenomeno così considerato ha stretta relazione con la elettrolisi de' liquidi.

Abbiamo difatti veduto che anche i gas possono subire l'elettrolisi. Ora fino ad un certo grado di rarefazione, la conducibilità dell'aeriforme va aumentando; ma poi, quando le molecole esistenti nel campo non bastano più per assorbirne tutta l'energia, la resistenza aumenta di nuovo per divenire infinita nel vuoto perfetto; mancano allora le molecole che servono, per così dire, da sostegno alle cariche.

D'altra parte è sufficientemente stabilito questo fatto che, anche all'infuori da ogni azione elettrica, la luce ultravioletta provoca la decomposizione delle molecole in ioni liberi. Pertanto non sarebbero le molecole che si propagherebbero nel tubo, ma ioni o atomi isolati, cosicchè il calcolo del cammino medio del Goldstein, dianzi ricordato, non si applicherebbe punto e cadrebbe ogni obbiezione alla teoria di Crookes così modificata. Vedremo poi altre ragioni che militano in favore dell'ipotesi di J. J. Thomson, ma fin d'ora vogliamo osservare come essa sia d' accordo con un'esperienza dello stesso Hertz, secondo la quale il calore sviluppato nei tubi a vuoto è proporzionale all'intensità della corrente, e non al suo quadrato come vorrebbe la legge di Joule. Qui difatti bisogna pensare che lo svolgimento del calore dipende dal numero dei ioni dissociati, il quale è evidentemente proporzionale all' intensità della corrente e non al suo quadrato.

§ 39. **Velocità dei raggi catodici.** — Affinchè si desti la fluorescenza, è necessario ammettere che la parete sia urtata con una frequenza ritmica, paragonabile con quelle che corrispondono ai periodi di oscillazione delle onde luminose più corte, e delle ultraviolette. Bisogna perciò attribuire ai ioni una velocità conveniente; senonchè le grandezze assegnate alla velocità dei raggi catodici da fisici eminenti offrono enormi discrepanze. Goldstein l' ha stimata a 500 miglia (circa 900 km. per minuto secondo); Brooks basandosi su l' arroventamento della laminetta di platino battuta dal fascio catodico, e ammettendo che ciascuna molecola d'aria la colpisca 100 volte al secondo, la ridusse a 12 miglia; Lord Kelvin trovò che, per ispiegare i fenomeni catodici di Crookes, bastava la velocità di 1 km., ecc., ecc. Siffatte divergenze indicano, com'è evidente, che nelle ipotesi assunte a base del calcolo della velocità suddetta vi è grande incertezza.

Ma la quistione è di una importanza speciale, giacchè la detta velocità è un importante criterio della natura di tali raggi: essa difatti permetterebbe di decidere se i raggi catodici possano considerarsi come dovuti al movimento della materia, o se sia necessario abbandonare una tale ipotesi. Per esempio, ove si trovasse per essi una velocità eguale a quella della luce, la natura ottica del fenomeno sarebbe evidente.

J. J. Thomson per la misura della velocità in discorso, adottò il metodo seguente.

Il tubo di scarica, di vetro d'uranio, veniva ricoperto di nero fumo, eccettuate due sottili striscie rettilinee distanti rispettivamente dal catodo 15 cm. e 25 cm.: esse erano sul prolungamento l'una dell'altra, e in due regioni nelle quali la fosforescenza del tubo risultava più brillante. Tali fenditure, riflesse da uno specchio rotante rapidamente attorno di un asse parallelo alla loro direzione, venivano osservate col mezzo di un cannocchiale. Quando una sca-

rica istantanea attraversava il tubo, le due imagini non si vedevano sul prolungamento l'una dell'altra, ma erano spostate; cosicchè è d'uopo conchiudere che le due fenditure suddette non diventavano fosforescenti nel medesimo istante. Poichè non è logico supporre che esse possano impiegare un tempo differente a divenire fosforescenti sotto l'azione dei raggi catodici, è necessario ammettere che questi richiedano un certo tempo a percorrere la distanza che separa le due fenditure. Conoscendo la velocità di rotazione dello specchio, e misurando lo spostamento delle imagini, si poteva calcolare il tempo impiegato dai raggi catodici a propagarsi da una fenditura all'altra, e per conseguenza la velocità loro di propagazione.

Ma eccitando il tubo nel modo ordinario, accadeva che le imagini delle due fenditure diventavano troppo larghe, quando lo specchio girava rapidamente, il che toglieva all'osservazione la precisione che si richiede. A eliminare siffatto inconveniente, Thomson modificò il suo apparecchio: il secondario di un forte rocchetto era chiuso sulle armature esterne di due condensatori, le cui armature interne venivano riunite col primario di una bobina di Tesla sommersa nell'olio, ai poli della quale si avevano scintille di 20 cm. Eccitando il tubo in tal modo, le imagini delle fenditure riuscivano molto più nette e le misure più certe. Si potrebbe obiettare a queste esperienze che, se si osserva un intervallo apprezzabile nell'apparizione delle due imagini, ciò potrebbe ascriversi al fatto che la seconda, essendo dovuta ad una eccitazione meno intensa, mette più tempo a risplendere; ma Thomson che aveva preveduto questa obiezione, se ne era premunito con un esame preliminare assai diligente del fenomeno.

Il chiaro fisico ha trovato così, per la velocità in discorso, un valore circa mille volte più piccolo di quello della luce: ed è notevole che tale velocità risulta sensibilmente uguale a quella da cui dovrebbero essere animate, sotto l'influenza della forza elettromotrice attiva tra l'anodo e il catodo, le molecoli materiali cariche di quella quantità di elettricità, che assegna loro la teoria elettrolitica.

§ 40. **Trasparenza dei metalli pei raggi catodici.** — H. Hertz ha per il primo messo in evidenza, che le radiazioni catodiche si distinguono essenzialmente dalla luce per la loro proprietà di attraversare, a differenza di questa, i metalli. È un fatto curioso che i corpi trasparenti per la luce oppongano una resistenza assoluta al passaggio dei raggi catodici; mentre, al contrario, i metalli, presi sotto uno spessore tale da essere opachi per la luce, sono trasparenti pei raggi catodici; e se anche fossero presi in foglie così sottili da lasciar passare eziandio un po' di luce, sarebbero però sempre più trasparenti pe' raggi catodici.

Hertz sperimentava in questo modo: egli ricopriva con sottili foglioline d'oro una lastra di vetro d'uranio, e sopra tali foglie metalliche fissava qualche lastrina di mica. Esponeva di poi in un tubo rarefatto la suddetta faccia alle radiazioni catodiche, emanate da un catodo di alluminio, alla distanza di 20 cm. Finchè la rarefazione dell'aria non era spinta all'estremo limite, le radiazioni catodiche riempivano tutto il tubo, formando un cono di luce bluastra; allora il vetro si mostrava fluorescente soltanto nelle parti non ricoperte colla fogliolina d'oro: ma se aumentando progressivamente il grado di vuoto, si rendeva sempre più oscuro l'interno del tubo di scarica, i raggi catodici propriamente detti colpivano più direttamente e, quasi diremmo, più serrati la laminetta d'oro, e il vetro si faceva fluorescente anche sotto di essa, segno evidente che l'oro li lasciava passare. Quando poi i raggi catodici avevano raggiunto la loro massima intensità, le foglie d'oro, osservate dalla parte posteriore, non apparivano più che come veli ricoprenti la lastra di vetro, riconoscibili soltanto ai bordi e a qualche possibile piega. Al contrario le piccole lastrine di mica, poste sopra le foglie d'oro, proiettavano attraverso queste un'ombra oscura sul vetro. Hertz ripeteva l'esperienza col medesimo successo adoperando foglioline di altri metalli, ed anche con straterelli d'argento deposti chimicamente. Egli non osservò differenze caratteristiche tra di loro; l'alluminio battuto, come si trova

in commercio, gli sembrò però il metallo più conveniente per queste esperienze; esso mentre è interamente opaco per la luce, è trasparentissimo pei raggi catodici, ed è facile a maneggiarsi. Un' altra particolarità è questa che i raggi catodici non attaccano l' alluminio, mentre invece una foglia d'argento è distrutta in pochi secondi.

Queste esperienze provano che i raggi catodici attraversano la massa del metallo; si potrebbe però obbiettare che foglioline metalliche così sottili sono crivellate di forellini, attraverso i quali i raggi avrebbero potuto arrivare al vetro, senza attraversare la massa metallica. L'esistenza dei detti forellini non può essere contestata, ma Hertz osservò che la superficie totale di tali aperture non è ad ogni modo che una frazione piccolissima della superficie del metallo, e sarebbe insufficiente a spiegare la vivacità della fosforescenza. Inoltre, riguardando dalla parte del catodo la porzione di vetro ricoperta dalla fogliolina, essa pare assolutamente oscura, cosicchè i raggi catodici debbono arrivare al vetro per una via che la luce da loro destata non può prendere pel ritorno; dunque i raggi non sono passati attraverso le piccole aperture della lamina.

Sovrapponendo al vetro due o tre foglioline metalliche, il numero di dette aperture, com' è naturale, deve diminuire grandemente; eppure, ripetendo l'esperienza con esse, la fluorescenza del vetro d' uranio non appare meno vivace: le ombre delle foglioline di mica persistono oscure.

Finalmente, osservava Hertz, se in queste esperienze i raggi catodici passassero attraverso ai forellini del metallo, essi dovrebbero dopo il passaggio continuare il loro cammino in linea retta; ma, al contrario, sono diffusi nel loro passaggio, come la luce che attraversa un mezzo torbido, per esempio il vetro d'opale.

Preso come tubo di scarica un tubo cilindrico, Hertz ne chiuse la sezione, a una distanza di circa 20 cm. dal catodo, con una lamina metallica abbastanza spessa, nella quale praticò una piccola apertura di qualche millimetro che otturò con una sottile foglia d' alluminio. Addossata una lamina di vetro fluorescente immediatamente contro l'apertura, egli ottenne sul vetro un'imagine netta e chiara del foro; ma allontanando la lastra fluorescente di vetro d' uno o due millimetri soltanto, l' immagine ingrandiva notevolmente, la sua chiarezza diminuiva e i contorni si facevano indecisi. Aumentando ancora più la distanza della lastra di vetro, la imagine diveniva sempre più sbiadita e indecisa, finchè scompariva del tutto e il tubo di scarica restava tutto oscuro al di là del diaframma. Ciò dipende dall' indebolimento dei raggi catodici, diffusi dal dischetto di alluminio. Si può mettere in evidenza questo fatto, praticando nel diaframma metallico più fori, e ricoprendoli con una sottile fogliolina di alluminio: il diaframma più semplice che si può impiegare per questa esperienza, consiste in una reticella sovra la quale si stende una foglia d'alluminio. Dietro questo diaframma tutto il tubo di scarica brilla d'una luce viva ed uniforme dovuta alla fosforescenza del tubo stesso.

Il fenomeno della diffusione dei raggi catodici causata dal loro passaggio attraverso a sottili laminette metalliche, si collega con quello osservato da Goldstein della diffusione dei medesimi raggi alla superficie d' incidenza di una lamina (§ 37).

§ 41. **Riflessione de' raggi catodici.** — Ma la diffusione de' raggi ne' tubi vuoti sembra accompagnata dalla riflessione regolare, come lo ha dimostrato sperimentalmente Gaston Seguy.

A provare tale riflessione sulle pareti del vetro e delle superficie metalliche, Seguy poneva nel centro di un tubo di forma sferica un elettrodo di alluminio tagliato in forma di stella (fig. 68); un secondo elettrodo in forma d'un piccolo disco era saldato al vetro parallelamente alla stella. Eccitando il tubo con una bobina di induzione che poteva dare 10 cm. di scintilla, quando il disco funzionava da catodo, si osservavano fenomeni luminosi che mettono in evidenza la riflessione dei raggi catodici sul vetro e la stella. Tali raggi eccitando la fluorescenza nella regione

anticatodica, si vede, come nell' esperienza di Crookes col tubo periforme e la croce d'alluminio, l'ombra oscura della stella nel mezzo della macchia luminosa. Fin quì niente di nuovo, ma si osserva di più che i raggi riflessi dal vetro nella regione anticatodica tornano indietro a illuminare la

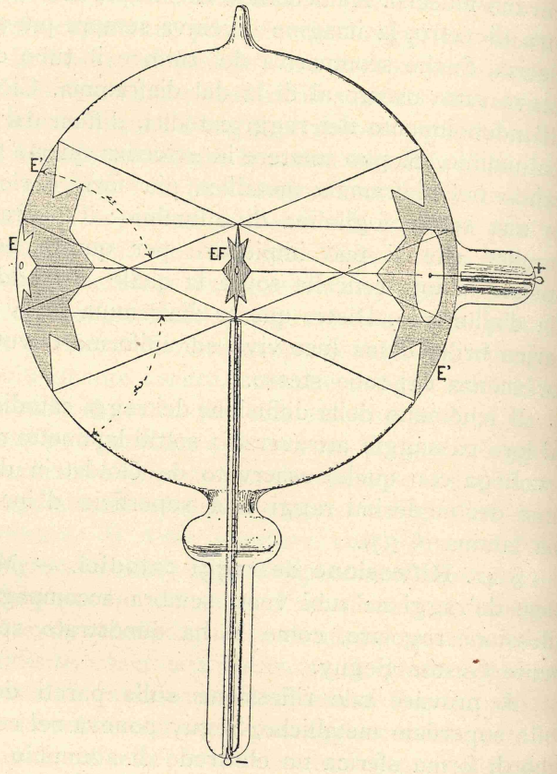


Fig. 68.

parete che circonda il catodo, e si forma una seconda ombra della stella maggiore della prima. E finalmente la stella d'alluminio, riflettendo anch'essa una parte dei raggi catodici, dà luogo nella parete di vetro prossima al catodo ad una seconda stella luminosa, inscritta nel mezzo dell'altra oscura.

Se poi si prende come catodo la stella d'alluminio, i fenomeni luminosi sono più semplici, poichè non si vedono che due immagini luminose in vera grandezza proiettarsi sulle pareti opposte del vetro.

Ma dopo la scoperta di Röntgen, è lecito pensare che i raggi riflessi o diffusi in queste esperienze non siano propriamente raggi catodici, ma in parte almeno raggi *X*.

§ 42. **Esperienze di Lenard.** — In seguito alla scoperta di Hertz che i raggi catodici possono attraversare sottili spessori di metallo, Ph. Lenard, suo assistente, potè

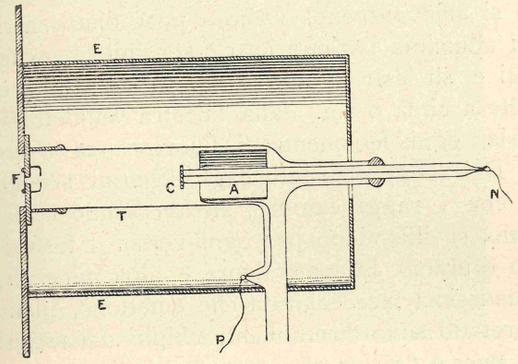


Fig. 69

far uscire tali raggi nell'aria ambiente, e studiarli indipendentemente dalla loro produzione.

A tal uopo egli costrusse un tubo speciale, chiuso nella regione anticatodica da un setto di alluminio di tenuissimo spessore: la fig. 69 rappresenta questo tubo di Lenard, nel quale il catodo *C* circolare è posto nell'asse del tubo, e l'anodo è formato da un cilindro *A*, centrato col tubo *T*.

Questo poi è chiuso di fronte al catodo da una armatura metallica avente un foro *F* del diametro di $1^{mm},7$, ricoperto da una sottilissima foglia di alluminio battuto, di $0^{mm},003$ di spessore, che può tenere il vuoto ed è opaca per la luce. Una capsula posta nell' interno dell'armatura

protegge la finestrella F contro ogni azione elettrostatica; inoltre l'intero apparecchio è circondato da una cassa metallica E in contatto coll'armatura che porta la finestrella F, messa in comunicazione con la terra. Con tale apparecchio Lenard potè riconoscere che i raggi catodici, attraversando la sottile laminetta di alluminio che chiude il foro F, si propagano nell'aria esterna: l'occhio non ne resta impressionato, ma la loro presenza si rivela per l'attitudine che hanno di destare la fosforescenza di molte sostanze e di impressionare le lastre fotografiche.

L'aria è per essi un mezzo assai torbido, cosicchè ben presto si affievoliscono, e solo a poca distanza dalla finestra di alluminio l'azione loro è sensibile su schermi fluorescenti e su lastre fotografiche. L'estinzione è così rapida che a circa 6 cm. dalla finestra suddetta, nell'aria ordinaria, ogni fenomeno di fluorescenza o fotografico cessa. Dal luogo occupato dagli schermi sensibili si arguisce che i raggi catodici, attraversando la lastrina di alluminio, si diffondono per ogni verso. I fosfuri alcalini, il vetro d'uranio, lo spato fluore e altri minerali brillano della medesima luce colorata che emettono, quando in un tubo rarefatto sono direttamente colpiti dai raggi catodici.

La *mica* e *l'eosina* che sono sensibili alla luce, non risentono azione alcuna da questi raggi: lo stesso accade per la soluzione acquosa di fluorescina e per una soluzione di clorofilla nell'etere.

I fenomeni di fosforescenza che si producono nello spazio d'osservazione vicino alla finestra F, cessano se con una calamita si deviano i raggi catodici dal loro cammino nell'interno del tubo. Una lastra di quarzo di $^1/_2$ mm. di spessore sufficientemente estesa, posta tra la finestra e il corpo fosforescente, fa subito cessare la luminosità: invece una foglia ordinaria di alluminio non la diminuisce punto.

Lo stesso succede per le impressioni fotografiche su d'una lastra sensibile. Pertanto i corpi trasparenti per la luce sono opachi pei raggi catodici, e viceversa: tuttavia la trasparenza o l'opacità di una sostanza dipende, com'è naturale, dal suo spessore.

Abbiam detto che l'atmosfera, alla densità ordinaria, è un mezzo torbido per i raggi catodici, onde ne nasce una diffusione loro in tutti i sensi: questo fatto è dimostrato dalla circostanza che effetti fosforescenti e fotografici si osservano anche nell'ombra geometrica di un corpo opaco, proiettata dalla finestra F. Per la stessa ragione se si pone una lastra metallica spessa, con un piccolo foro a bordi netti, sulla via dei raggi catodici nell'aria, non se ne ottiene un'imagine nettamente limitata che ad una piccola distanza

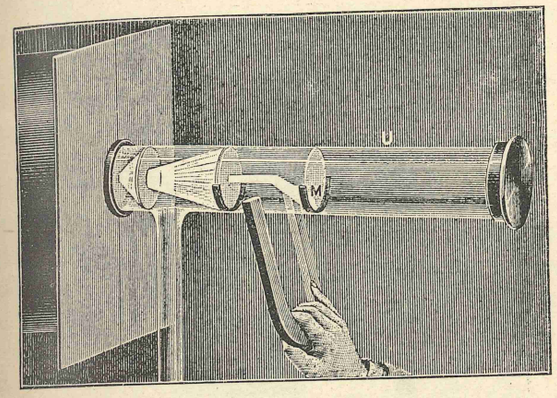


Fig. 70.

dall'apertura: ad una distanza un po'maggiore, uno schermo resta pressochè ugualmente rischiarato in tutta la sua superficie.

Se di seguito alla finestra F si pone un tubo, nel quale si può spingere molto innanzi la rarefazione, la propagazione dei raggi catodici si fa molto meglio: essi possono percorrere parecchi metri senza subire una sensibile diminuzione nella loro intensità; il vuoto appare quindi il mezzo più atto alla loro propagazione.

Un'altra proprietà di questi raggi catodici è quella di scaricare rapidamente i corpi elettrizzati e di essere deviati da una calamita. La fig. 70 mostra come deve essere disposta la esperienza per provare l'ultima proprietà

ora detta: i raggi alla loro uscita dalla finestra sono limitati nel tubo *U* da due schermi successivi, e attraversano un campo magnetico all'uscita dal secondo schermo.

In *M* è posto uno schermo fluorescente sul quale si osserva lo spostamento della macchia luminosa: il fenomeno può essere anche fotografato sostituendo allo schermo fluorescente una lastra sensibile.

La fig. 71 rappresenta un fac simile del fenomeno secondo la Memoria di Lenard. Nella colonna di sinistra *A*

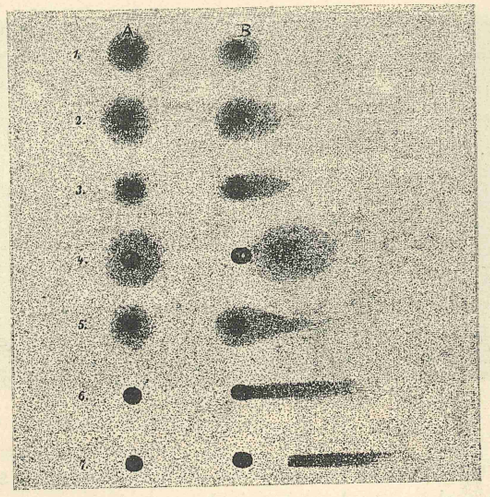


Fig. 71.

è una serie di macchie prodotte sulla lastra da raggi non deviati: quella di destra *B* mostra il fenomeno dopo il passaggio dei raggi nel campo magnetico. Queste macchie presentano un carattere notevole: soltanto le aureole sfumate che circondano i nuclei centrali delle macchie sono deviate. Da tale esperienza pare potersi concludere che i raggi di Lenard, (così chiameremo d'ora in poi i raggi usciti fuori del tubo di Crookes, attraverso la finestra di alluminio) formano una radiazione composta; vale a dire alcuni di essi sono deviati più o meno da una calamita;

altri invece, quelli della macchia centrale più oscura, o non lo sono punto o lo sono in grado assai minore.

Una questione fondamentale, relativa alla natura dei raggi catodici, è quella di vedere se la loro propagazione è legata intimamente alla presenza della materia che riempie lo spazio, ovvero se essa ha luogo anche nel vuoto. L'impossibilità di produrre raggi catodici nel vuoto perfetto o quasi aveva impedito ogni risposta a tale riguardo. Oggi però la difficoltà è in parte superata, perocchè sperimentando al modo di Lenard si possono produrre i detti raggi nelle condizioni di vuoto più acconcie, e poi facendoli uscire fuori del tubo di proiezione, si può studiarne la propagazione in un tubo saldato al primo, ove il vuoto può essere spinto sino agli estremi limiti (fig. 70).

A misura che la rarefazione progredisce, le distanze alle quali si producono i fenomeni di fosforescenza aumentano, come si è detto innanzi, e i raggi tagliati con un diaframma sono sempre più recisamente limitati. Spingendo il grado di rarefazione più oltre, la fosforescenza delle pareti del vetro diventa sempre più brillante, e mostra una propagazione rettilinea in tutti i sensi a partire dalla finestra. Da questo grado di rarefazione sino al vuoto estremo possibile Lenard non poteva osservare notevoli cangiamenti, all'infuori di un maggior splendore della fosforescenza del vetro. Con una eccellente pompa a mercurio si spinse il vuoto ad un grado tale, che la pompa cessava di agire, e non era più possibile di produrre una scarica elettrica tra due elettrodi d'alluminio fissati nel tubo di osservazione: questa seguiva piuttosto la superficie esterna del vetro, quantunque gli elettrodi fossero lontani l'uno dall'altro 20 cm.

Lenard pensa che in tali condizioni non è possibile attribuire alcun effetto sensibile al debole residuo gassoso; e opina perciò, contrariamente alle idee di Crookes, che i raggi catodici si propagano nell'etere: se per la loro propagazione fosse necessaria una materia ponderabile, essa non potrebbe verificarsi in un vuoto così estremo.

I raggi poi erano sempre fortemente deviati da una calamita.

Sperimentando con altri gas, che successivamente riempivano lo spazio d'osservazione, a diversi gradi di rarefazione, Lenard constatava che essi erano dei mezzi torbidi in grado diverso per il passaggio di tali raggi. Se ne conclude che questi sono affettati nella loro propagazione dalle molecole gassose: le molecole dell'idrogeno però rendono l'etere meno torbido che non fanno quelle dell'ossigeno, e queste meno di quelle dell'anidride carbonica, ecc.: insomma pei raggi catodici i gas più densi sono, a parità delle altre circostanze, i mezzi più torbidi.

In un ultimo lavoro Lenard ha determinato i coefficienti di assorbimento dei diversi corpi per i raggi catodici: per l'aria alla pressione normale il coefficiente suddetto varia da 4,10 a 3,10, secondo il grado di rarefazione del gas contenuto nel tubo di Crookes che li produce.

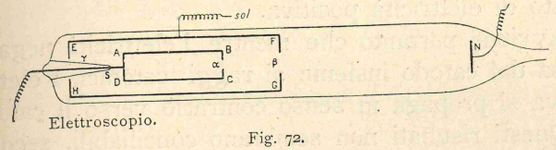
§ 43. **Convessione dell'elettricità dovuta ai raggi catodici.** — Per concludere, diremo che tre ipotesi furono messe innanzi per spiegare le proprietà dei raggi catodici. Goldstein, Wiedemann, Hertz e Lenard, per tacere di altri, pensano che questo fenomeno sia dovuto, come quello della luce, a vibrazioni rapidissime dell'etere, alle quali corrisponderebbero lunghezze d'onda assai brevi. Con tale ipotesi si spiega bene la propagazione rettilinea di tali raggi, e le loro proprietà di eccitare la fluoruscenza e di impressionare le lastre fotografiche.

Jaumann, prima ancora della scoperta di Röntgen, suppose che tali raggi siano invece dovuti ad onde longitudinali nei gas rarefatti, sottomessi alle scariche elettriche: ma secondo Poincaré l'ipotesi di Jaumann non rende conto di tutti i fenomeni, poichè raggi siffatti seguirebbero le linee di forza e non sarebbero punto deviati da una calamita. Jaumann ha risposto a queste critiche, ma noi non possiamo entrare in una discussione che riveste un carattere puramente matematico.

Altri poi con Crookes pensano che i raggi catodici siano costituiti da particelle cariche negativamente e proiettate dal catodo con una grandissima velocità. Con questa terza ipotesi si comprendono bene le loro proprietà meccaniche e l'inflettersi della traiettoria in un campo magnetico.

Era intanto importante constatare se tale elettrizzazione negativa dei raggi catodici esistesse o meno; le esperienze seguenti del Perrin paiono risolvere la quistione.

Questi sperimentava ponendo nel tubo a scarica rappresentato dalla fig. 72 un cilindro metallico $A\,B\,C\,D$ chiuso da ogni parte, salvo una piccola apertura α al centro della faccia $B\,C$. Questo conduttore fa l'ufficio del cilindro di Faraday, e permette di misurare le cariche elettriche che



Elettroscopio.

Fig. 72.

per l'apertura α porteranno nel suo interno i raggi catodici: un filo metallico saldato in mezzo alla parete del tubo fa comunicare questo cilindro con un elettroscopio. Un secondo cilindro metallico $E\,F\,G\,H$, che ha le aperture $\beta\,\gamma$, è posto in comunicazione permanente con la terra, e protegge il cilindro di Faraday contro ogni influenza esterna. Finalmente a 10 cm. di distanza, di fronte a $F\,G$, si trova un elettrodo N destinato a funzionare da catodo, mentre il cilindro protettore $E\,F\,G\,H$ fa d'anodo. Un fascio di raggi catodici, quando il tubo viene eccitato, penetra così nel cilindro di Faraday per le aperture β ed α; ora accade che quest'ultimo si carica sempre di elettricità negativa. Se poi si dispone il tubo tra i poli di un elettrocalamita e si devia il fascio dei raggi catodici, questi non entrano più nel cilindro di Faraday, che così non si elettrizza. Le esperienze riescono egualmente bene, o con un rocchetto di Ruhmkorff o con una macchina di Wimshurst.

Pertanto il cilindro di Faraday si carica negativamente quando i raggi catodici vi penetrano, il che prova che questi sono in realtà carichi di elettricità negativa.

Ora il principio della conservazione dell'elettricità conduce a cercare le cariche positive corrispondenti. Il Perrin le ha trovate nella regione stessa, nella quale prendono origine i raggi catodici. Per verificare la cosa bisogna impiegare un catodo vuoto, recante una piccola apertura attraverso la quale possa penetrare parte dell'elettricità positiva attratta: allora questa potrà caricare un cilindro di Faraday interno al catodo medesimo. Il cilindro $E\,F\,G\,H$ colla sua apertura β può servir bene allo scopo: impiegandolo come catodo, mentre l'elettrodo N funziona ora da anodo, Perrin ha trovato che il cilindro di Faraday è sempre caricato di elettricità positiva.

Avviene pertanto che mentre l'elettricità negativa è emessa dal catodo insieme ai raggi catodici, l'elettricità positiva si propaga in senso contrario verso il catodo.

Questi risultati non sembrano conciliabili, secondo il Perrin, con la teoria che fa consistere i raggi catodici in una luce ultravioletta: essi si accordano invece con la teoria che li considera quale un raggiamento materiale. In verità, in vicinanza del catodo il campo elettrico è sufficientemente intenso per scomporre in ioni alcune molecole del gas che resta nel tubo: se così è, ioni negativi si propagheranno con una velocità considerevole verso lo spazio ove il potenziale aumenta e formeranno i raggi catodici; ioni positivi si muoveranno in senso inverso, ma secondo il Perrin essi formeranno una specie di pennacchio diffuso e non un raggiamento nel vero senso della parola.

BIBLIOGRAFIA.

Abria, *Annales de Chimie et de Physique*, 1843.

Hittorf, *Ueber die Electricitäts Leitung der Gase. Pogg. Ann.*, 1869.

Goldstein, *Ueber die Entladung der Electricität in verdünnten Gasen. Wied. Annalen*, 1880, p. 10.

Crookes, *Revue Scientifique*, 3 juillet 1880.

Gaugain, *Comp. rend. de l'Académie des Sciences*, t. XL, p. 1036.

Reitlinger, *Annales de Chimie et de Physique*, 3.e série, t. LXVII, p. 114.

Quet et Séguin, *Annales de Chimie et de Physique*, 3.e série, t. LXV, p. 317.

De la Rive, *Annales de Chimie et de Physique*, 4.e série, t. VIII, p. 437.

Müller e De la Rue, *Philosophical Transaction*, 1878, vol. 179. *On the electric discharge of the chloride of silver battery.*

Righi, *Rivista Scientifico-Industriale del Vimercati*, 1880, fasc. 12 e 17.

Gintl e Puluy, *Repertorium für Esperimental Physik von Ph. Carl. Strahlende Electroden Materie*, 1881.

Roïti, *Elementi di fisica*, p. 485.

E. Wiedemann et G. C. Schmidt, *Entladungserschei nungen in verdünnten Metattdämpfen. (Décharges electriques à travers des vapeurs métalliques raréfiés); Wied. Ann.*, t. LVIII, p. 454; 1896.

Gaston Séguy, *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 134, séance du 20 janvier.

Jean Perrin, *Comptes Rendus*, t. CXXI, p. 1131; séance du 30 décembre 1895.

E. Wiedemann, *Ueber electrische Entladung in Gasen* (*Annales de Wied.*, t. XX, p. 756; 1883).

E. Wiedemann et H. Ebert, *Electrische Entladungen in Gasen im Flammen* (*Annales de Wied.*, t. XXXV, p. 209; 1888).

E. Wiedemann et H. Ebert, *Ueber die angebliche Abstossung paralleler Kathodenstrahlen* (*Annales de Wiedemann*, t. XLVI, p. 158; 1892).

E. Goldstein, *Monatsberichte de l'Académie de Berlin* (janvier 1880).

E. Goldstein, *Ueber die Reflexion elektrischer Strahlen* (*Monatsberichte de Berlin*, 1881, p. 775).

Hertz, *Versuche über die Glimmentladung* (*Annales de Wiedemann*, t. XIX, p. 782; 1883).

J. J. Thomson, *On a theory of the electric discharge in gases* (*Philosophical Magazine*, 5.e série, t. XV, p. 427; 1883).

Stoletow, *Journal de Physique*, 1890, p. 468.

Righi, *Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni.* Serie di note e memorie pubblicate negli *Atti della R. Accad. di Bologna*, negli anni 1888, 1889, 1890, 1891.

Wiedemann, *Ann.*, t. XIX, p. 756, 1883.

Hertz, *Glimmentladung Wied. Annales*, t. XIX, p. 782, 1883.

CAPITOLO III.

RAGGI DI RÖNTGEN.

§ 44. **Raggi X di Röntgen.** — Fu ripetendo le esperienze di Lenard, delle quali abbiamo detto nel precedente capitolo, che il prof. C. W. Röntgen venne casualmente condotto alla scoperta delle nuove radiazioni.

In questo capitolo ci limiteremo a dare un largo riassunto della Memoria originale del chiaro fisico.

Avviluppato di carta nera un tubo di Crookes che era eccitato da un buon rocchetto di Ruhmkorff, e operando in una camera buia, Röntgen osservò che un foglio di carta ricoperto di platino cianuro di bario, posto in vicinanza del tubo, diventava fluorescente. Accade la stessa cosa rinchiudendo il tubo in una cassetta di legno, le pareti della quale, come gl'inviluppi di carta nera, sono completamente opachi ad ogni specie di luce. La fluorescenza si indeboliva allontanando lo schermo dal tubo, ma era ancora visibile alla distanza di 2 o 3 metri; — essa si desta eziandio, in altri corpi che ne sono capaci, come il vetro di uranio, lo spato d'Islanda, il tungstato di calcio, e, meglio ancora, il platino cianuro di potassio.

V'è dunque un agente che irradia dal tubo di Crookes e che l'occhio non discerne, il quale attraversando il cartone, il legno, e propagandosi nell'aria è capace di eccitare la fluorescenza di alcune sostanze: tale agente non poteva essere confuso con le radiazioni ordinarie luminose, e neppure con quelle attiniche, le quali non possono attraver-

sare nè il cartone, nè il legno; e nemmeno poteva confondersi coi raggi catodici che non passano attraverso le pareti di vetro del tubo di Crookes: d'altronde questi raggi si diffondono e disperdono presto nell'aria, che per essi è, come s'è detto innanzi, un mezzo torbido.

Alla nuova specie di raggi il Röntgen diede il nome di raggi X, forse per indicarne la natura problematica; di poi per comune consenso dei fisici, furono detti raggi Röntgen in onore dello scopritore. Noi, nel corso di quest'opera, li diremo indifferentemente ne' due modi.

Le radiazioni conosciute atte a destare la fluorescenza e la fosforescenza sono anche capaci, come si sa, di produrre azioni chimiche, e segnatamente di impressionare le lastre fotografiche; così Röntgen non tardò anche a scoprire l'azione fotografica de' suoi raggi, la quale circostanza gli permise di studiarli in modo preciso, escludendo l'elemento subbiettivo che entra invece a giudicare della fluorescenza.

Valendosi sia di schermi fluorescenti, sia di lastre fotografiche, egli misurò il diverso grado di trasparenza di varie sostanze pei detti raggi: molte completamente opache per le radiazioni luminose, sono invece assai trasparenti pei nuovi raggi. Questi attraversano, per esempio, un grosso volume di 1000 pagine, assicelle di abete o di pino bene spesse. Una lastra di alluminio di 15 millimetri di spessore si lascia ancora attraversare dai raggi X; il vetro è meno trasparente dell'alluminio, il cristallo invece è quasi opaco a cagione del piombo che contiene: l'ebanite è trasparente sotto uno spessore di qualche centimetro. Se si tiene la mano davanti allo schermo fluorescente, le ossa proiettano un'ombra oscura, e i tessuti molli che le contornano si disegnano molto leggermente.

L'acqua e molti liquidi sono trasparenti; i metalli invece, se si eccettua l'alluminio, sono opachi o quasi; essi si lasciano attraversare soltanto quando sono di tenue spessore, 1 mm. o meno: una lastra di piombo dello spessore di 2 mm. arresta praticamente questi raggi. Un regolo di

legno quadrato di 2 cm. di lato dipinto con biacca sopra due faccie, proietta un'ombra leggera quando i raggi attraversano le faccie nude, ma l'ombra è nera quando i raggi devono attraversare la faccia coperta di biacca.

I sali metallici, solidi o in soluzione, si comportano generalmente come i metalli stessi. Per conchiudere, la proprietà dei corpi di lasciarsi attraversare dai raggi X dipende sopratutto dalla loro densità: nondimeno questa sola non determina punto il grado di permeabilità; lo si prova ponendo dinanzi al fluoroscopio o sopra lastre sensibili lastrine di eguale spessore di spato d'Islanda, di vetro, d'alluminio, e di quarzo. Lo spato d'Islanda è molto più trasparente degli altri corpi, benchè esso abbia approssimativamente la medesima densità.

Aumentando lo spessore, aumenta la opacità pe' detti raggi di tutti i corpi. Prendendo foglie di platino, di zinco, di piombo e d'alluminio sotto uno spessore tale da ottenere il medesimo effetto, si hanno i seguenti risultati:

	Spessore	Spessore relativo	Densità
Platino	0,018^{mm}	1	21,5
Piombo	0,050	3	11,3
Zinco	0,100	6	7,1
Alluminio	3,500	200	2,6

Risulta da questi valori che la trasparenza non è punto data dal prodotto della densità per lo spessore d'un corpo: la trasparenza aumenta più rapidamente che il prodotto suddetto non decresca.

Da quanto precede si deduce, che di un oggetto metallico chiuso in una scatola di legno o di cartone si potrà avere l'ombra fotografica attraverso le pareti della scatola, sebbene queste siano opache alla luce ordinaria. Basterà a tal uopo posare la cassetta sopra lo strato sensibile di una lastra fotografica, avvolta in parecchi strati di carta nera per difenderla dalla luce, e quindi esporla all'azione dei raggi X: il legno si farà attraversare e non lascerà

alcuna traccia; l'oggetto opaco invece, arrestandoli, proietterà la propria ombra sulla lastra, la quale apparirà bianca su fondo nero nella negativa, e il contrario sarà nella positiva. Non altrimenti si può ottenere l'ombra fotografica o radiografia di una mano (fig. 73) poichè i tessuti molli

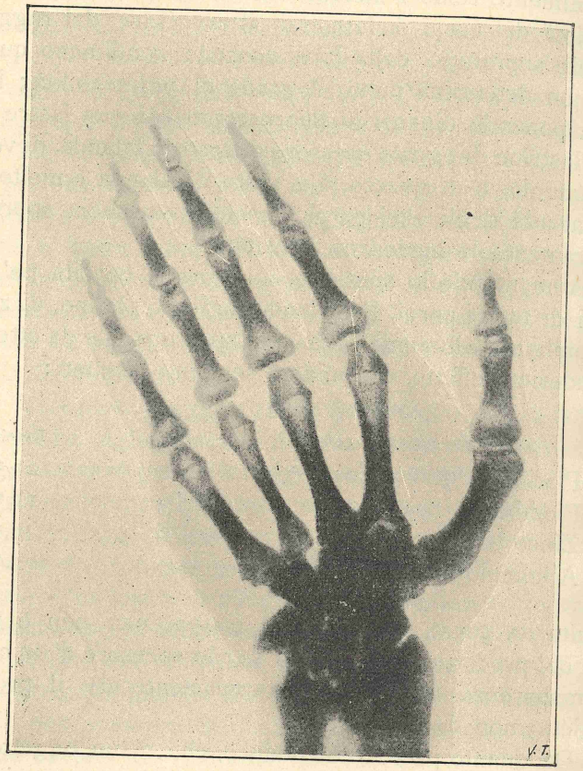


Fig. 73.

sono trasparenti o quasi, e le ossa quasi del tutto opache, queste proietteranno l'ombra sulla lastra. Anzi il migliore modo e il più spiccio di operare è questo: si chiuda la lastra sensibile, dopo averla involta in due o tre strati di carta nera per maggior cautela, in una di quelle scatole

di cartone colle quali le lastre vengono poste in commercio, e che sono del tutto impenetrabili alla luce. La lastra deve avere lo strato sensibile rivolto verso il coperchio e molto vicino a questo, quasi a toccarlo: sul coperchio poi si posa direttamente la mano o qualunque altro oggetto di cui si voglia la radiografia, e si espone ogni cosa all'azione del tubo di Crookes eccitato da un buon rocchetto (fig. 74): la

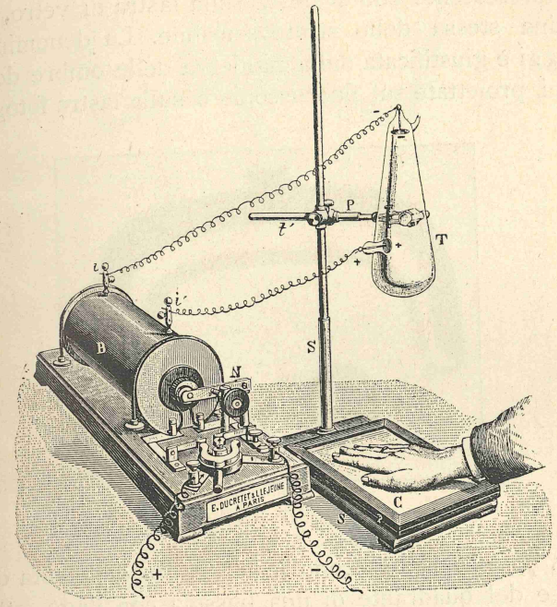


Fig. 74

distanza dalla regione anticatodica di questo si tiene d'ordinario dai 10 ai 20 cm. Così si può avere la radiografia di un portamonete (fig. 75), di una rana viva (fig. 76), di un pesce (fig. 77), ecc.: le figure qui indicate riproducono, come quella della mano, le *positive* fotografiche; la fig. 78 riproduce invece la *negativa* fotografica dello stesso pesce, ossia quella che s'ottiene direttamente sulla lastra.

Le ordinarie lastre fotografiche secche servono egregiamente; lo sviluppo si fa al solito col solfato ferroso o

con l'idrochinone o con l'iconogene, ma bisogna prolungarlo un po' più che con le ordinarie fotografie; il trattamento poi con l'iposolfito sodico per fissare le imagini, la lavatura, e ogni altra operazione si fa come con l'ordinaria fotografia.

È ancora dubbio se l'effetto fotografico di detti raggi debba assegnarsi direttamente ai raggi X, ovvero alla luce fluorescente che si desta sulla lastra di vetro, o nella gelatina stessa dello strato sensibile. La denominazione di raggi è giustificata dalla nitidezza delle ombre dei corpi opachi, proiettate sul fluoroscopio o sulla lastra fotografica.

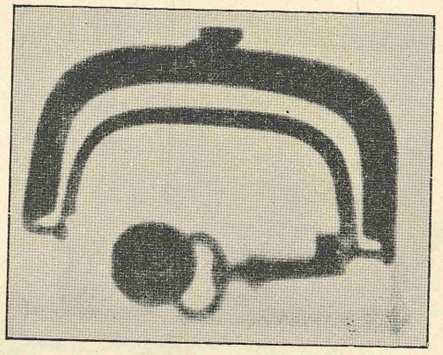


Fig. 75.

Le fig. 79 e 80 riproducono le fotografie delle dita di una mano, e del quadrante di una bussola con l'ago, ottenute dallo stesso Röntgen: un dito porta un anello.

Se non che tutte le radiazioni eteree conosciute comprese le hertziane hanno la proprietà, come abbiam veduto, di riflettersi regolarmente sulle superficie speculari, di rifrangersi passando da un mezzo omogeneo ad un altro, di birifrangersi nei mezzi non omogenei, di produrre fenomeni di interferenza e di polarizzazione. Ora per giudicare se i raggi X appartengano o meno alla famiglia dei raggi ultravioletti, bisognava vedere se oltre alle proprietà che hanno comuni con questi, di propagarsi in linea retta,

di eccitare la fluorescenza, di impressionare le lastre fotografiche, ne possiedono anche le altre proprietà enumerate sopra. Röntgen non mancò di sottoporre da questo punte

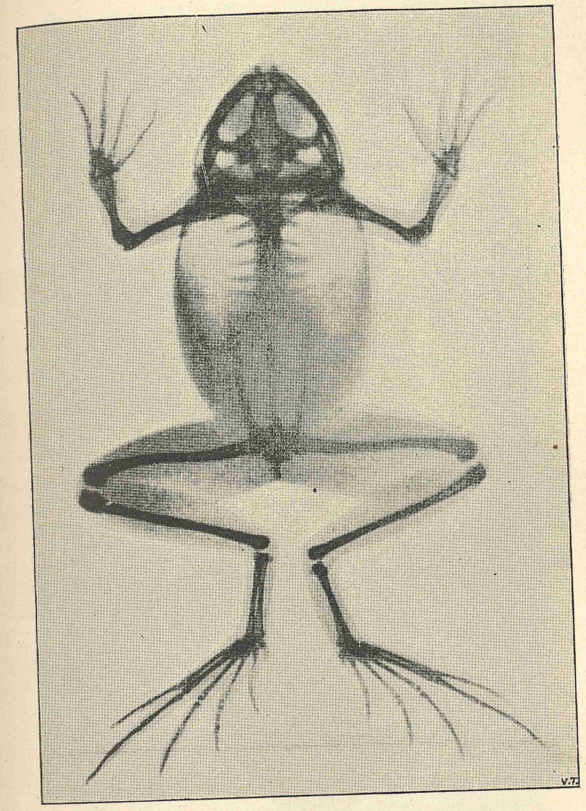


Fig. 76.

di vista i suoi raggi ad un accurato e minuzioso esame, ma i risultati furono completamente negativi.

Egli prima d'ogni altra cosa si è studiato di vedere, se i raggi X erano deviati o no da un prisma. Esperienze fatte con l'acqua e il solfuro di carbonio, contenuti in prismi di mica con l'angolo rifrangente di 30°, non hanno fatto

vedere alcuna deviazione sia sulla lastra fotografica, sia sullo schermo fosforescente; mentre facendo la stessa esperienza coi raggi luminosi, le deviazioni erano ben distinte.

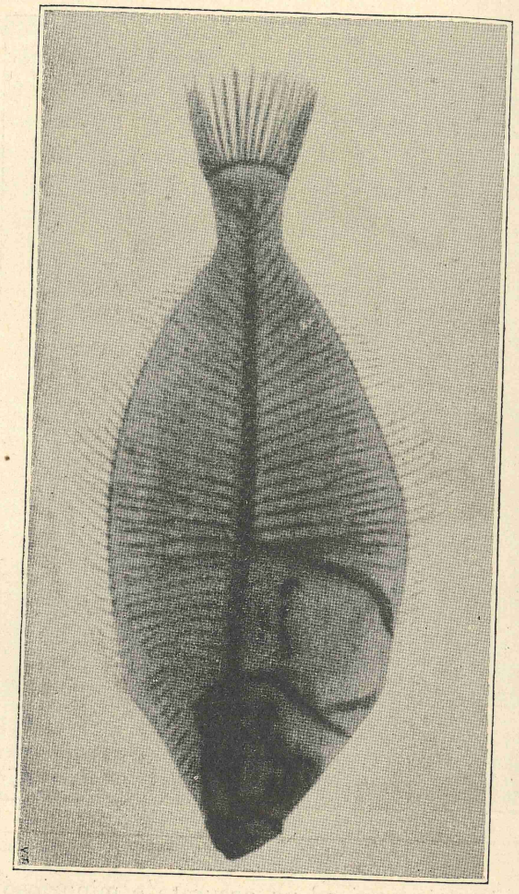


Fig. 77.

Tuttavia con prismi di ebanite e di alluminio parrebbe che una piccola deviazione dell'imagine si produca, ma la cosa è sembrata al Röntgen incerta: se deviazione c'è, l'indice di tali sostanze sarebbe tutt'al più uguale a 1,05. La que-

stione è così importante che egli si è argomentato di risolverla, ricorrendo ad altre esperienze, diverse da quelle ora dette del prisma.

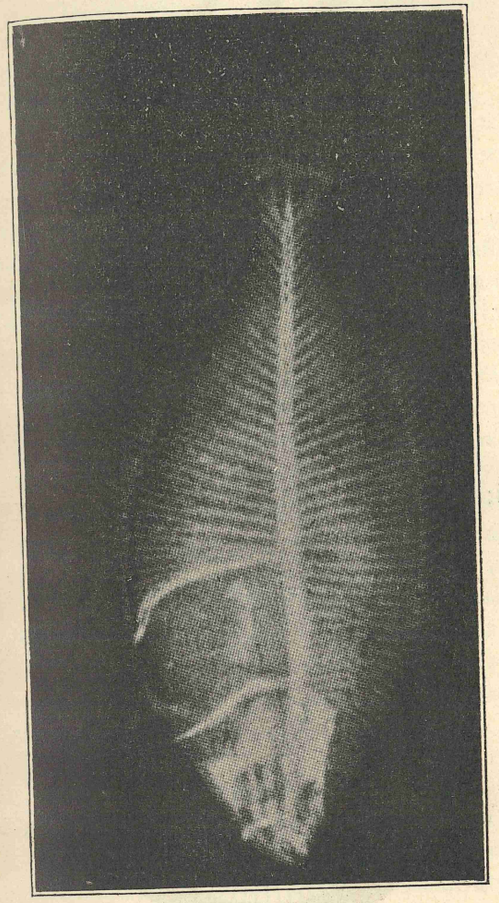


Fig. 78.

Se si riempie una canna metallica di vetro pesto o di altra materia diafana ridotta in polvere, tutti sanno che ben poca luce può attraversare la massa nella dire-

zione della canna, a cagione delle molteplici riflessioni e

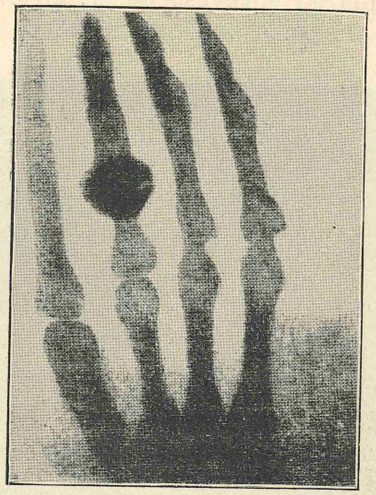


Fig. 79.

rifrazioni; per la stessa ragione una massa di neve ci pare

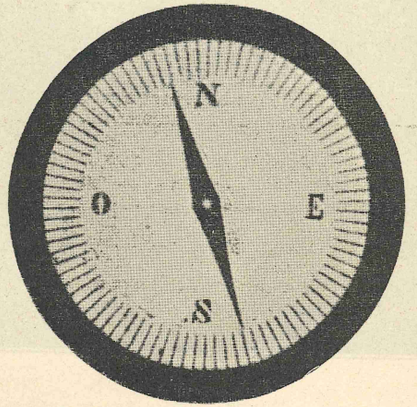


Fig. 80

opaca, sebbene i singoli cristalli che la costituiscono siano trasparenti. Fondandosi su un'osservazione simile, Röntgen

avendo riempito alcuni truogoli con polvere di salgemma e di argento elettrolitico, e avendoli interposti fra il tubo e la lastra sensibile o lo schermo fluorescente, non potè constatare alcuna differenza nella impressione della lastra o nella luce dello schermo, in confronto di ciò che accadeva quando i raggi X passavano attraverso a lastre delle medesime sostanze e dello stesso spessore.

Röntgen constatò la semplice diffusione di detti raggi alla superficie di alcuni corpi: a tal' uopo ei coperse una lastra fotografica con carta nera, ed applicò su questa, dalla parte della superficie sensibile, laminette di platino, piombo, zinco, alluminio, tagliate in forma di stelle; poi affacciò il lato opposto, quello cioè non sensibilizzato, ad un tubo di Crookes in azione. Sviluppata la negativa, apparvero in tratti oscuri le figure delle prime tre stelle, prodotte dai raggi X: questi dopo avere attraversato la carta, la lastra di vetro e lo strato sensibile, erano stati riflessi dalle lastrine dei metalli suddetti; la imagine della stella di alluminio era molto debole, perchè questo corpo è trasparente pei raggi in discorso. Ma la grande vicinanza delle laminette allo strato sensibile della lastra fotografica non permette di considerare tali risultati dovuti a una regolare riflessione, sibbene ad una diffusione in tutti i sensi, simile a quella che subisce la luce su un foglio di carta.

Ponendo poi a confronto questo resultato colla trasparenza delle polveri e col fatto che lo stato della superficie non esercita azione alcuna sul passaggio dei raggi X attraverso i corpi, l'Autore è condotto a conchiudere che probabilmente la riflessione regolare non esista, e che i corpi si comportino rispetto ai raggi X come i mezzi torbidi per la luce. L'assenza di rifrazione vorrebbe indicare, che i detti raggi si propagano con la stessa velocità attraverso a tutte le sostanze, le quali poi li arrestano quanto più esse sono dense.

Era naturale il pensare che la disposizione geometrica delle molecole potesse modificare l'azione, che esercita un corpo su tali raggi; ma Röntgen avendo sperimentato con

lo spato d'Islanda e con il quarzo, ha trovato il medesimo effetto, qualunque fosse la direzione dei raggi nei detti cristalli.

Abbiamo visto come i raggi di Lenard siano rapidamente assorbiti dall'aria; ora Röntgen, impiegando un fotometro di Weber, ha trovato che l'intensità della luce fluorescente destata dai raggi X varia presso a poco come l'inversa del quadrato dello schermo fluorescente dal tubo di Crookes: dunque l'aria assorbe i raggi X molto meno di quelli catodici, e come l'aria operano in generale gli altri gas.

Un'altra differenza fra i raggi X e quelli catodici è il loro modo di comportarsi in un campo magnetico; poichè mentre questi sono facilmente deviati da una calamita, i primi non lo sono punto, neppure adoperando intensi campi magnetici.

Indi, in seguito a un gran numero di prove, Röntgen ha potuto convincersi che il luogo principale di emissione dei raggi X è la regione del tubo colpita direttamente dal fascio dei raggi catodici: quando col mezzo di una calamita si sposta la radiazione del catodo, i raggi X partono dal nuovo punto colpito dal fascio catodico. Anche per questa ragione che i raggi X non sono deviati da una calamita, Röntgen conclude che essi non possono essere confusi con quelli catodici, sebbene siano prodotti da questi nella parete del tubo: non è poi necessario che questa sia di vetro, giacchè anche con un tubo aventi le pareti di alluminio, dello spessore di 2 mm., Röntgen potè egualmente produrre i raggi X.

Esperienze dirette a ricercare fenomeni di interferenza furono perfettamente negative: e neppure si potè constatare alcun effetto calorifico dei raggi X, sebbene esso sia probabile, giacchè i fenomeni di fluorescenza mostrano che tali raggi sono capaci di trasformarsi.

Dopo aver indarno tentato, come si è visto, di produrre i fenomeni classici dell'ottica, quali l'interferenza e la polarizzazione, esso abbandona l'idea che i raggi X possano essere della luce, ed emette la seguente ipotesi, che diremo con le stesse sue parole: " Che cosa sono

dunque i raggi X? Poichè essi non sono raggi catodici, si potrebbe supporre, in seguito alla loro attitudine a produrre la fluorescenza e le azioni chimiche, che essi siano dovuti alla luce ultravioletta. Ma un insieme imponente di prove è in contraddizione con questa ipotesi. Se i raggi X sono in realtà della luce ultravioletta, questa luce deve possedere le proprietà seguenti:

a) non si rifrange punto passando dall'aria nell'acqua, nel solfuro di carbonio, nell'alluminio, nel salgemma, nel vetro, nello zinco;

b) essa non si riflette regolarmente alla superficie dei corpi citati;

c) essa non è polarizzata da alcuno dei mezzi polarizzanti ordinari;

d) l'assorbimento operato dai differenti corpi deve dipendere sopratutto dalla loro densità; il che vuol dire che i raggi ultravioletti devono comportarsi affatto diversamente dai raggi visibili o da quelli ultrarossi e dai raggi ultravioletti di già conosciuti, e questo pare così inverosimile che io ho cercato di fare un'altra ipotesi.

" Sembra esservi una specie di relazione tra i nuovi raggi e i raggi luminosi; almeno la produzione delle ombre, della fluorescenza e delle azioni chimiche sembra indicarla. Ora si sa da molto tempo che oltre alle vibrazioni che rendono conto dei fenomeni luminosi, è possibile che vibrazioni longitudinali si producano nell'etere; alcuni fisici pensano che tali vibrazioni debbano esistere. Tuttavia, bisogna convenire che la loro esistenza non è mai stata messa in evidenza, e che le proprietà loro non sono state stabilite sperimentalmente. Questi nuovi raggi non potrebbero essere attribuiti a delle onde longitudinali dell'etere?

" Io debbo confessare, che a misura che continuavo nelle mie ricerche, mi sono famigliarizzato sempre più con questa idea, ed io mi permetto di enunciarla, senza dissimularmi però, che l'ipotesi vuol essere stabilita più solidamente. „

§ 45. **Raggi catodici e raggi X.** — Prima di procedere innanzi nello studio delle nuove radiazioni, è bene d'insistere ancora su qualche differenza tra i raggi catodici e i raggi scoperti da Röntgen.

A prima vista i risultati dell'esperienze di Lenard e di Röntgen potrebbero lasciare sussistere qualche dubbio a tale riguardo.

Noi abbiamo visto difatti che i raggi catodici non possiedono tutti egualmente la facoltà di essere assorbiti dai mezzi materiali, e di venir deviati in un campo magnetico; si potrebbe quindi pensare che esistano raggi catodici, i quali non possiedano affatto le due proprietà suddette. Se fosse così, i raggi di Röntgen dovrebbero essere emessi dal catodo, traversare in linea retta le pareti del tubo e continuare a propagarsi nella medesima direzione. Invece la cosa succede ben altrimenti, giacchè il punto di emissione dei raggi X si sposta sotto l'influenza di una calamita, e su questa circostanza sono d'accordo tutte le esperienze conosciute.

Osserveremo finalmente che, in seguito alla scoperta di Röntgen, ci appare ora chiaro che i raggi Lenard dovessero formare una radiazione complessa; vale a dire essi contenevano i raggi catodici propriamente detti, la cui proprietà caratteristica è quella di ubbidire ad un campo magnetico, e i raggi X che da questo non risentono azione alcuna. Ed è pur chiaro ora che alcuni degli effetti osservati dal Goldstein, come per esempio quello a cui si riferisce la fig. 67, debbano essere attribuiti, invece che ai raggi catodici, ai raggi X.

BIBLIOGRAFIA.

W. K. Röntgen, *Ueber eine neue Art von Strahlen.* Due memorie pubblicate nei *Sitzungsberichte der Würzburger Physikmedic. Gesellschaft;* Dec. 1895 Marzo 1896.

CAPITOLO IV.

PROPAGAZIONE DE' RAGGI X — I RAGGI X E LA FLUORESCENZA — VARIE SPECIE DI TUBI — CRIPTOCROSI.

§ 46. **Propagazione rettilinea de'raggi X.** — La formazione nitida delle ombre dei corpi opachi sta in modo certo a provare che i raggi di Röntgen si propagano in linea retta. Del resto se ne può avere una conferma facendo la seguente esperienza: si pongano davanti al tubo di Crookes due diaframmi opachi ai raggi, distanti qualche centimetro, aventi aperture circolari; su una lastra sensibile posta un po'al di là, si ottiene un'imagine dei fori con ombra e penombra, le cui dimensioni sono quelle che debbono risultare da una propagazione esattamente rettilinea. È dunque possibile di isolare pennelli di raggi ben definiti e studiarne le proprietà.

Nello stesso intento si possono anche far passare i raggi emessi dal tubo attraverso a un piccolo forellino praticato in una gran lastra di zinco; si forma sulla lastra sensibile posta al di là un'imagine del tubo, allo stesso modo che nella camera oscura si formano le imagini con la luce ordinaria. Tale esperienza dovuta al Perrin permette anche di giudicare quale sia la regione del tubo, che è sede principale di emissione dei raggi X; questa, come lo ha affermato Röntgen, corrisponde alla parte del tubo colpita direttamente dai raggi catodici, la quale risplende di più viva fluorescenza. Se con una calamita si deviano i raggi catodici nell'interno del tubo, la macchia fluorescente si sposta con essi, e parimenti cambia il luogo principale di emissione di tali raggi.

§ 47. **Riflessione de' raggi X.** — Il Perrin limitando col mezzo di due fenditure di $0^{mm},5$ di larghezza, distanti $4^{cm.}$, un fascio di raggi di Röntgen, e facendolo cadere a 45° su uno specchio d'acciaio pulito, dopo un'ora di posa non potè ottenere alcuna impressione sopra una lastra fotografica, ben protetta dalla luce e dalle radiazioni dirette del tubo, collocata normalmente alla direzione che avrebbero dovuto avere i raggi riflessi. Ripetè l'esperienza prendendo come specchio una lastra di flint e prolungando il tempo di posa: il resultato fu parimenti negativo, ond'egli ne deducesse la inettitudine dei raggi X a riflettersi. Ma Röntgen aveva constatato, come si è detto, la semplice diffusione o riflessione irregolare di detti raggi su delle lastrine metalliche. I professori Battelli e Garbasso di Pisa dalle loro esperienze confermarono tale diffusione: a tal uopo essi unirono insieme due tubi di latta ad angolo retto, come una squadra, e nel gomito posero uno specchio di zinco a 45° cogli assi dei tubi: affacciando alla imboccatura di uno dei tubi il Crookes, e all'altra una lastra sensibile diligentemente protetta dall'azione diretta dei raggi X, poterono su questa osservare l'ombra abbastanza nitida di un filo di piombo, che le era stato posto dinanzi a breve distanza.

A. Imbert e H. Bertin Sans trovarono anch' essi che i raggi X provano una riflessione in tutti i sensi alla superficie de'corpi che incontrano nella loro propagazione, e che i raggi così diffusi hanno la stessa attitudine di quelli diretti ad attraversare certi corpi. È quindi necessario ammettere che o la sorgente dei detti raggi adoperata dal Perrin fosse insufficiente, o il tempo di posa troppo breve.

Ma v' ha di più: il prof. Murani è riuscito a produrre la regolare riflessione dei raggi su uno specchio assai pulito di acciaio. Limitando il fascio di raggi X per mezzo di due fori quadrati aperti su due spesse lamine di zinco, collocate parallelamente alla distanza da $10^{cm.}$, faceva, come il Perrin, cadere il fascio sullo specchio suddetto con l'incidenza di 45°: nella direzione che avrebbero dovuto avere i raggi riflessi regolarmente, era collocata una lastra sensibile avvolta in più fogli di carta nera e chiusa in una scatola di cartone del tutto impermeabile alla luce, essendo sopra la scatola posta una lastra di zinco traforata.

L'ampiezza e la giacitura degli schermi erano tali da difendere bene la lastra sensibile dall' azione diretta dei raggi X: ad ogni modo per maggiore certezza, in un'esperienza preliminare, si toglieva lo specchio di acciaio dal suo posto, e si faceva a lungo funzionare il tubo: allo sviluppo la lastra non indicava la minima traccia di impressione.

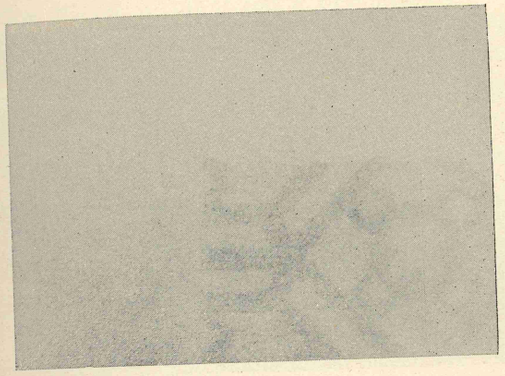


Fig. 81.

Eseguendo poi l'esperimento con lo specchio di acciaio, sulla lastra appariva netta l'immagine del traforo di zinco ma non su tutta la superficie, come sarebbe accaduto per riflessione irregolare, sibbene sulla sola parte che corrispondeva all'apertura dei fori; inoltre tali aperture apparivano un po' ingrandite, giusta la teoria geometrica della propagazione rettilinea, vale a dire come si troverebbe conducendo le tangenti interne ed esterne per descrivere il cono di penombra (fig. 81).

Il tubo adoperato era un Crookes ordinario periforme, e la posa venne prolungata per un' ora e mezza; dalla debolezza della imagine ottenuta si arguisce che il potere riflettente è assai piccolo.

Sostituendo lo specchio di acciaio con una lastra di zinco, pulita ma non speculare, avveniva invece la diffusione dei raggi in tutti i sensi, e l'imagine del monogramma di zinco appariva su tutta la superficie della lastra sensibile (fig. 82).

Anche Sella e Majorana osservarono la riflessione dei raggi X, valendosi dell'azione che questi hanno di scaricare i corpi elettrizzati (v. Capo VI). Essi collocavano un elettrometro Mascart entro una cassa di lastra di zinco in comunicazione col suolo, per eliminare sia le azioni elettrostatiche,

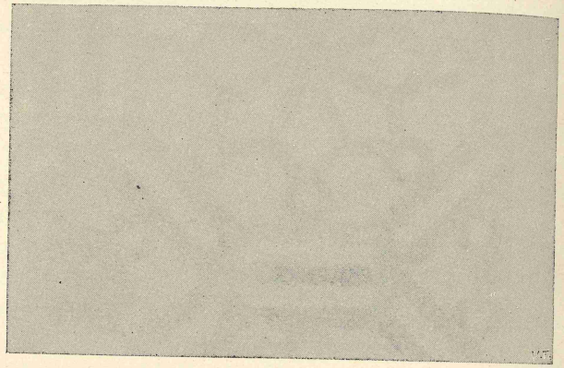


Fig. 82.

sia il passaggio dei raggi Röntgen. Una parete laterale della cassa aveva una finestra quadrata ricoperta da una sottile lastra d'alluminio, la quale permetteva il passaggio dei raggi X in un punto determinato. All'interno, poco lontana dalla lastra d'alluminio era collocata una lastra metallica in comunicazione coll'ago dell'elettrometro. Per provare la riflessione dei raggi X, essi ponevano un tubo di Crookes periforme orizzontalmente e parallelamente alla finestra, e dinanzi a questa uno specchio inclinato di 45° sull'asse del tubo. Misurando la velocità di scarica dell'elettrometro, quando c'era o no lo specchio, constatarono molto nettamente la riflessione dei detti raggi con specchi di metalli diversi.

La diffusione accade anche su altri corpi e in proporzione considerevole. Il fatto invece del debolissimo potere riflettente conduce ad assegnare ai nuovi raggi una lunghezza d'onda assai piccola, se essi consistono in onde dell'etere, e tale che non è sempre possibile di realizzare il grado di levigatezza necessaria per determinare la riflessione regolare.

§ 48. **Rifrazione de' raggi X.** — Quando alla rifrazione furono eseguite molte esperienze, dalle quali risultano confermate le esperienze di Röntgen, vale a dire che o essa manca affatto o tutt'al più è debolissima.

Innumerevoli sono le prove fatte in questo senso. Il metodo seguito dai più è quello dell'apparecchio rappre-

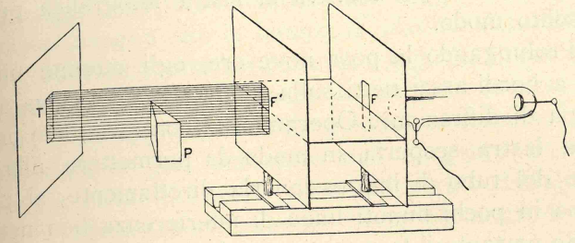


Fig. 83.

sentato dalla fig. 83: esso consiste essenzialmente in due schermi con due strette finestre F, F'' poste parallelamente, le quali limitano un fascio piano e ben netto di raggi. Un prisma P di una sostanza trasparente per i raggi X vien collocato tra la seconda fenditura e la lastra fotografica: lo schermo orizzontale serve a dividere le fenditure in due parti e ad evitare i raggi obliqui. Sperimentando a questo modo Battelli e Garbasso, e il Perrin trovarono l'imagine delle due semifenditure nel prolungamento esatto l'una dell'altra, con prismi di cera, di paraffina, d'abete, e con prismi cavi riempiuti di diversi liquidi (acqua, alcool, olio e petrolio). Si conclude quindi che almeno per le sostanze studiate non si verifica alcuna sensibile rifrazione, poiché, in tal caso, una metà della linea avrebbe dovuto apparire spostata rispetto all'altra.

La velocità di propagazione dei raggi del Röntgen è pertanto la stessa nell'aria e nei corpi suddetti. Tuttavia il Perrin trovò con un prisma di alluminio un leggero spostamento, che condurrebbe ad ammettere un indice di rifrazione uguale a 0,9996. Come si vede, anche in questo caso la rifrazione è insensibile, e però non è possibile di concentrare tali raggi con lenti, come si fa con la luce.

Il Perrin continuando a cercare quale proprietà dei raggi di Röntgen coesistesse colla loro propagazione rettilinea, ha tentato col medesimo apparecchio di formare delle frangie di diffrazione. La parte attiva del tubo venne a tal uopo posta davanti ad una stretta fenditura; a $5^{cm.}$ di distanza ne venne collocata un'altra di 1^{mm}, e al di là, $10^{cm.}$ più lontana, si trovava la lastra fotografica protetta nel solito modo.

Prolungando la posa nove ore, egli ottenne un'immagine a bordi assai netti sulla quale non si vedeva alcuna frangia di diffrazione. Operando, al contrario, con una seconda lastra scoperta, in modo da permettere alla luce verde del tubo di impressionarla direttamente, si producevano in pochi minuti linee di interferenza ben nette.

Se pertanto il fenomeno è periodico, se ne deduce che il periodo deve essere inferiore a quello della luce verde impiegata.

È bene osservare che questa esperienza, fatta con ogni diligenza, prova in modo indubbio la propagazione rettilinea dei raggi di Röntgen.

A cagione dell'importanza teorica che ha questo argomento, riferiremo anche le esperienze del Gouy, eseguite pur esse con grande rigore.

Per ricerche precise bisognava anzitutto disporre d'una sorgente lineare delle radiazioni in discorso, la quale fosse abbastanza intensa per operare fotograficamente a una distanza relativamente grande, e avesse piccola larghezza per dare ombre ben definite.

L'artifizio di limitare con una fenditura praticata in uno schermo le radiazioni della sorgente, soddisfa alla seconda condizione, ma riduce l'intensità, a sì poca cosa, che bisogna sperimentare a distanze troppo piccole per misure esatte.

Ora Gouy è riuscito a superare tale difficoltà coll'impiego dei tubi *focus*, che noi descriveremo più innanzi: basterà per ora sapere che in essi i raggi X prendono origine alla superficie di una lamina piana di platino, posta al centro di curvatura d'un catodo sferico. Se si esamina col mezzo di uno schermo fosforescente o di una lastra fotografica la distribuzione dei raggi, si constata che questi si distribuiscono quasi uniformemente sull'emisfero limitato dal piano della lastra di platino, e cessano quasi bruscamente nella direzione che rade la lamina suddetta. Questa legge, del tutto diversa dalla legge del coseno di emissione, insegna che la lamina di platino vista obliquamente costituisce una sorgente di raggi X, il cui splendore intrinseco è sensibilmente in ragione inversa della sua larghezza apparente: onde ponendosi quasi nel piano della lamina, si può realizzare una sorgente lineare di grande intensità. Nel tubo *focus* adoperato dal Gouy la lamina di platino perfettamente piana permette di utilizzare raggi che fanno con il suo piano un angolo ben piccolo; così si ha una sorgente lineare intensa, la cui larghezza apparente raggiunge appena $0^{mm},1$.

L'apparecchio poteva fornire imagini vigorose a 5^{m} di distanza con quattro ore di posa: il tubo cogli apparecchi accessori e la lastra sensibile erano posti, allo scopo di impedire ogni oscillazione, su mensole di pietra fissate a un muro. Nelle prime esperienze l'autore studiò la rifrazione attraverso l'alluminio, tendendo fortemente un filo di platino ricotto, di $0^{mm},1$ di diametro, parellamente al piano della lamina di platino posta nell'interno del tubo. Un prisma di 60° col suo spigolo rifrangente parallelo al filo, era posto vicino a questo che lo sorpassava da una parte e dall'altra: pertanto sulla lastra fotografica si riceveva l'ombra del filo, il mezzo della quale era formata dai raggi che avevano attraversato il prisma. L'esperienza consisteva nel mi-

surare lo spostamento ε di questa porzione, per rispetto alla linea retta definita dalle due estremità. Essendo la distanza della lastra dalla sorgente di $4^m.50$, e il filo collocato a metà via, con una posa di tre ore si ottenne l'ombra del filo formata da una linea bianca di circa $0^{mm},2$ di larghezza, che era molto nitida. Esaminandola col mezzo di un apparecchio micrometrico ben preciso, si trovò che lo spostamento ε non oltrepassava 20 milionimetri; il che corrispondeva nelle condizioni dell'esperienza ad una deviazione di 2″. Così ne risulterebbe che l'indice non potrebbe differire dall'unità più di $\frac{1}{200000}$. Ma trattandosi di quantità così piccole, bisognava ripetere le prove sperimentando in modo ancora più perfetto: al che si accinse il chiaro fisico tendendo parallelamente, invece di uno, due fili di platino, e ponendo dietro ciascuno un prisma, in modo che i due spigoli rifrangenti paralleli ai fili fossero tra questi verso il loro mezzo. I fili che avevano il diametro di 40 milionimetri, erano discosti l'uno dall'altro 2^{mm}, e distavano ugualmente dalla sorgente e dalla lastra fotografica.

L'ombra dei fili sulla lastra aveva l'apparenza di due linee chiare ben definite, anche osservandole con un certo ingrandimento, e d'una larghezza incirca di 100 milionimetri.

Si facevano due serie di misure, con prismi trasparenti e con corpi presso a poco opachi: nel primo caso la lastra fotografica era ad una distanza di 5^m dalla sorgente, nel secondo essa era ridotta al decimo.

Si trovò che gli spostamenti prodotti dalla rifrazione, misurati con estrema esattezza, non oltrepassarono qualche milionimetro: riferiamo qui sotto l'indice n calcolato in base a simili spostamenti:

	Sostanze	$(n-1)\,10^6$
Prima serie	Alluminio	− 0.46
	Crown glass	− 0.69
	Ebanite	− 0.40
	Solfo	+ 0.69
	Cera vergine	+ 0.30

	Sostanze	$(n-1)\,10^6$
Seconda serie	Flint-glass	+ 7.0
	Ferro	− 17.5
	Zinco	+ 10.5

Per i corpi abbastanza trasparenti della 1.ª serie, le deviazioni osservate non sono che frazioni di secondo, e l'indice differisce dall'unità meno di un milionesimo. La rifrazione è dunque insensibile: se pur vi è, bisogna cercarla nella settima decimale dell'indice.

Nella seconda serie gli spostamenti non oltrepassano gli errori ammissibili, ma l'approssimazione è di circa 20 volte minore.

§ 49. **Diffrazione dei raggi X.** — Il Gouy s'è anche occupato della diffrazione di tali raggi. Nelle esperienze precedenti (1.ª serie), la luce darebbe ombre estremamente deboli e larghe più centimetri. Questa osservazione mostra già che la diffrazione dei raggi X è nulla o quasi; ma per sottomettere la quistione a una prova rigorosa egli ha studiato l'allargamento che prova il fascio passando per una stretta fenditura.

Con una fenditura di 45 milionimetri di larghezza posta a m. 2.50 dalla sorgente lineare e dalla lastra, se alcuna complicazione non intervenisse, si dovrebbe avere un'imagine netta di 90 milionimetri di larghezza. In realtà le dimensioni della sorgente, i grani dello strato sensibile, e le piccole oscillazioni degli apparecchi durante la posa di 4 ore, impediscono che l'imagine abbia contorni assolutamente netti; ma l'esame micrometrico mostra che tale imagine è compresa in una larghezza, che varia da 110 a 120 milionimetri.

Se la diffrazione esistesse come per la luce, con una lunghezza d'onda eguale per esempio a 0,005 milionimetri, si avrebbe una larghezza di 340 milionimetri, vale a dire 3 volte maggiore di ciò che si ottiene con i raggi Röntgen. È dunque stabilito con certezza che se la diffrazione esiste, come per la luce, la lunghezza d'onda dei raggi X

è considerevolmente più piccola di 0,005 milionimetri, che sono $\frac{1}{100}$ della lunghezza d'onda del verde.

Del resto non si può affermare che esista una diffrazione qualsiasi, poichè il piccolo eccesso della immagine sulla larghezza teorica (90 milionimetri) si spiega naturalmente con le cause dette sopra.

Anche Sagnac ha cercato di produrre frangie di interferenza con un reticolo. Mentre i raggi gialli monocromatici fornivano distintamente delle frangie, i raggi X non hanno presentato il fenomeno in nessun grado, e l'osservazione delle lastre fotografiche era così accuratamente fatta, che interferenze prodotte da onde 14 volte più corte di quelle della riga *D* sarebbero apparse. Questi risultati sono in pieno accordo con quelli del Gouy, e provano che se i raggi X consistono in vibrazioni trasversali dell'etere, le lunghezze delle onde corrispondenti debbono essere estremamente piccole.

§ 50. **Polarizzazione dei raggi X.** — Le esperienze della polarizzazione dei raggi X hanno grande importanza per la teoria del fenomeno.

Il principe Galitzine e A. de Karnojitzki idearono un esperimento analogo a quello che si fa per polarizzare la luce con le tormaline: essi fecero preparare tre piccole lastre di tormalina assai sottili, di $0^{mm},5$ di spessore. Sulla maggiore posarono le due altre, una parallelamente e l'altra normalmente all'asse della prima. Se v'ha polarizzazione, là dove le lastre sono incrociate, si deve avere una diminuzione dell'azione dei raggi X sulla lastra fotografica. Nel fine poi di eliminare ogni influenza che potessero avere piccole differenze di spessore o la mancanza d'omogeneità, essi cangiarono più volte la posizione relativa delle piccole lastrine. Il risultato dell'esperienza fu questo, che nei punti dove le lastrine erano incrociate, l'azione fotografica risultava in effetti un po' minore: ma conviene aggiungere che le prove dovettero essere rinforzate con la sovrapposizione di più pellicole simili, il che vuol dire che la polarizzazione, se realmente avviene, è estremamente debole.

Importava grandemente ripetere l'esperienza, e mettere la cosa fuori di ogni dubbio, poichè se i raggi X realmente si polarizzano, ciò vorrebbe dire che essi consistono in vibrazioni trasversali dell'etere. Ma N. Meier operando con cristalli di jodo-chinino, H. Becquerel con tormaline, Sagnac con corpi cristallizzati diversi, non poterono osservare alcun effetto apprezzabile, cosicchè nulla si può dire di certo intorno a questo importante fenomeno, che da solo basterebbe a rivelare la natura delle nuove radiazioni. È a far voti che queste esperienze siano riprese con la maggiore cura, per togliere ogni dubbiezza in proposito.

§ 51. **Luogo di emissione dei raggi X.** — Röntgen nella sua Memoria affermò che i raggi X non emanano punto dagli elettrodi, ma dai punti dove i raggi catodici colpiscono le pareti del tubo vuoto; e prendendo una parete di alluminio, egli ha provato che la fluorescenza visibile non è punto necessaria alla produzione del fenomeno.

Questo fatto venne confermato da esperienze del prof. Ròiti, il quale dimostrò come i raggi partano e si propaghino in tutte le direzioni dai punti dove i raggi catodici colpiscono vari solidi: oltre il vetro e l'alluminio, anche la mica, il platino e la porcellana. Egli in principio disponeva l'oggetto e la lastra sensibile dietro la lamina della sostanza incontrata dai raggi catodici; di poi l'oggetto e la lastra sensibile vennero invece rivolti alla faccia della lamina colpita dai raggi catodici, colla quale disposizione otteneva impressioni relativamente più intense. Il tubo di Hittorf o Crookes adoperato e rappresentato nella fig. 84 di prospetto e nella fig. 85 di profilo: nel collo del palloncino *R* si trova uno specchio concavo di lastra d'alluminio, il centro di curvatura del quale corrisponde al mezzo di un dischetto di terracotta porosa, inclinato a 45° sull'asse ottico dello specchio. Il dischetto della grossezza

di $^1/_2$ mm. e del diametro di 20 mm., era montato sopra un anello di alluminio che fa da anodo. Il tubo veniva eccitato dalla corrente secondaria di un grande rocchetto di Ruhmkorff, che con l'interruttore rapido poteva dare 12 cm. di scintilla nell'aria, ed era mantenuto da una pompa di Geissler, alla quale restava sempre unito, vicino a quel grado di vuoto, in cui la luminosità negativa è per scomparire. Al passaggio della corrente il dischetto di argilla si arroventava nel mezzo, secondo una piccola el-

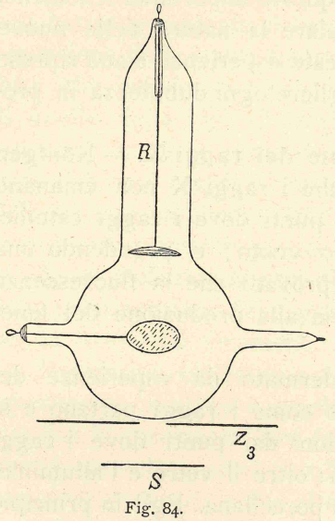


Fig. 84.

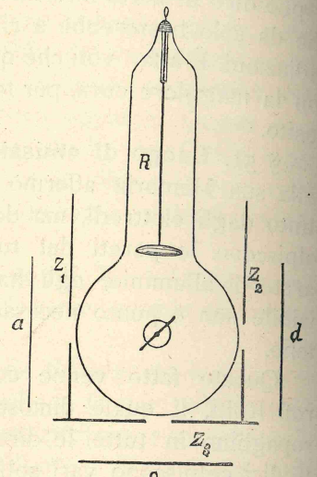


Fig. 85.

lisse; questa era contornata da un bel violetto, che a sua volta era circondato da un celeste splendido, simile a quello emesso per fluorescenza dal solfato di chinina.

Tutta la superficie del palloncino diveniva luminosa, ma molto più dirimpetto al disco che a tergo.

Disponendo davanti, dietro e al disotto del dischetto tre diaframmi di zinco forati nel centro, e dietro ad essi tre lastrine fotografiche, egli trovò che l'azione dei raggi Röntgen è più energica di fronte. Ne dedusse che l'origine di tali raggi si trova sulla superficie di una sostanza

colpita dai raggi catodici, sia essa o no in comunicazione con l'anodo.

Inoltre profittando delle proprietà che ha l'alluminio di essere trasparente pei raggi di Röntgen, il Ròiti effettuò un'altra serie di esperienze usando tubi come quello della fig. 86 con gli elettrodi T, S formati da due specchietti concavi identici, centrati sul medesimo asse e aventi a comune il centro di curvatura. Sia l'uno o l'altro dei due specchietti quello che funziona da catodo, due lastre fotografiche a, b ben protette dalla luce e poste dietro due schermi di zinco Z, Z_1 alle due estremità del tubo, presentavano, sviluppandole insieme, impressioni quasi identiche, quando le distanze loro dalla superficie colpita dai raggi catodici (in questo caso l'anodo) erano eguali.

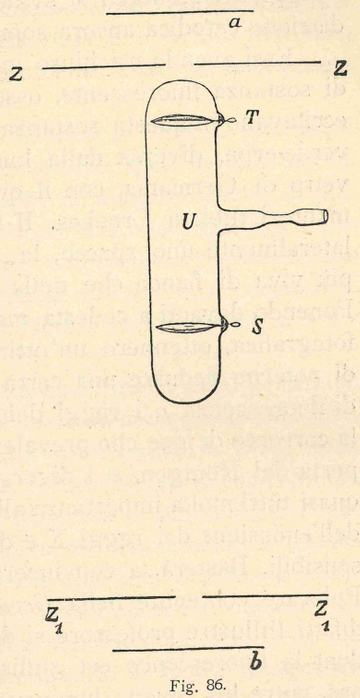


Fig. 86.

Anche il Perrin con svariate esperienze ha mostrato lo stesso fatto: cosicchè rimane confermato che il luogo d'emanazione dei raggi Röntgen non è il catodo, ma la superficie del corpo colpita dai raggi catodici.

Riassumendo si può dire, che nei punti dove una sostanza qualunque arresta i raggi catodici si sviluppano dei raggi di Röntgen, e sembra che essi non prendano origine in altri luoghi. Questi raggi divergono poi in tutte le direzioni: certe sostanze li assorbono rapidamente, e si comprende allora che i tubi di Crookes per la produzione

dei raggi X debbano essere di vetro e non di cristallo, poichè, sebbene la produzione vi possa essere intensa, con quest' ultima sostanza non potrebbero passare al di fuori.

§ 52. **I raggi X e la fluorescenza.** — I prof. Battelli e Garbasso avevano anch'essi osservato il fatto che i raggi del Röntgen si sviluppano per l'azione della radiazione catodica ancora sopra sostanze diverse dal vetro.

Essi avendo rinchiuso in un tubo cilindrico un blocco di sostanza fluorescente, osservarono che i raggi catodici eccitavano in questa sostanza una vivacissima fluorescenza verde-erba, diversa dalla luce verde-pomo che emette il vetro di Germania, con il quale si fabbricano ordinariamente i tubi di Crookes. Il blocco suddetto presentando lateralmente uno spacco, la luce di fluorescenza riusciva più viva di fianco che nella direzione dei raggi catodici. Ponendo davanti a codesta macchia fluorescente una lastra fotografica, ottennero un'ottima impressione, e crederono di poterne dedurre una certa connessione tra i fenomeni di fluorescenza e i raggi del Röntgen. Questa era difatti la corrente di idee che prevaleva in sul principio della scoperta del Röntgen, e i diversi sperimentatori attribuirono quasi tutti molta importanza alla fluorescenza nel fenomeno dell'emissione dei raggi X e della impressione delle lastre sensibili. Basterà, a convincersene, riportare le parole del Poincaré contenute nella *Revue générale des sciences:* ivi difatti l'illustre professore si domanda: " si tous les corps dont la fluorescence est suffisamment intense, n'émettent pas, outre les rayons lumineux, des rayons X de Röntgen *quelle que soit la cause de leur fluorescence?* Les phénomènes ne seraient plus alors liés à une cause électrique. Cela n'est pas probable, mais cela est possible et, sans doute, assez facile a vérifier. „

Vero è che il Becquerel ha scoperto, seguendo quest'ordine di idee, una nuova specie di radiazioni diverse dai raggi X, omai note sotto il nome di raggi Becquerel: ne diremo brevemente nell'ultimo capitolo; ma niuna esperienza conferma che la produzione dei raggi X sia strettamente legata ai fenomeni di fluorescenza.

Se ciò fosse, si dovrebbero rinvenire raggi del Röntgen ogni qualvolta si ha produzione di luce fluorescente. Ora questo non è: i due fisici di Pisa eccitarono con la luce dell'arco voltaico la fluorescenza in parecchie sostanze, come il vetro d' uranio, la soluzione di uranina e di aurina, i vapori di antracene, ecc., ma non venne mai loro fatto di constatare che il fenomeno fosse accompagnato dalla produzione di raggi X.

Contemporaneamente il Murani a Milano, sperimentando con molte sostanze fluorescenti, quali la fluorescina, il vetro d'uranio, i cianuri doppi di platino e bario, di platino e potassio, ecc., e con sostanze fosforescenti come i solfuri di stronzio e di calcio, che nell'oscurità risplendevano di una bella luce turchino-violetta, non potè mai constatare, per quante prove ei facesse, alcuna emissione, neppur debole, di raggi X.

Le esperienze erano condotte in modo assai semplice: in una scatola di cartone del tutto impermeabile alla luce, si poneva una lastra sensibile inviluppata in carta nera, con lo strato impressionabile rivolto verso il coperchio, e su essa si posava una lastra traforata di zinco. Al di sopra poi, sul coperchio, erano le sostanze fosforescenti e si esponeva il tutto per parecchie ore alla luce diretta del sole. Se quelle sostanze avessero emesso, ancorchè debolmente, raggi di Röntgen, questi, attraversando il cartone della scatola e la carta nera ond' era involta la lastra fotografica, avrebbero dovuto fornire in un tempo sì lungo l'impressione del traforo metallico. Ma per quanto si moltiplicassero le esperienze, e si prolungasse sino a dieci ore l'esposizione alla luce, e gli sviluppi fossero fortemente spinti, non si potè mai ottenere la benchè menoma impressione sulla lastra. Si deve quindi concludere che la fosforescenza eccitata dalla luce solare nelle sostanze sperimentate dal Murani, non è punto accompagnata da raggi aventi la proprietà di quelli del Röntgen.

E neppure egli ottenne alcuna impressione, esponendo per due ore la lastra sensibile, protetta nel modo detto dianzi, molto vicino ad un tubo di Geissler, circondato da una soluzione di fluorescina, che risplendeva di una bella e viva luce, quando il tubo veniva eccitato.

D'Arsonval assicura invece d'aver ottenuta la impressione sulla lastra sperimentando nel modo detto quì sopra, ed anche col vetro di uranio; cosicchè egli concludeva che tutti i corpi i quali emettono delle radiazioni fluorescenti di color giallo verdastro, possono impressionare la lastra fotografica attraverso i corpi opachi; ossia i corpi fluorescenti emettono delle radiazioni che godono delle proprietà dei raggi X, conformemente all'idea del Poincaré. Ma le esperienze del Murani sono in aperta contraddizione con queste del d'Arsonval, nè si può credere che risultati così opposti debbano essere attribuiti alla circostanza che il fisico francese interponeva fra la lastra sensibile e la sostanza fluorescente una lastra poco spessa di alluminio, mentre il Murani interponeva soltanto del cartone e della carta nera. Difatti poichè i raggi X attraversano la carta meglio dell'alluminio, l'impressione fotografica, se realmente le sostanze fluorescenti emettessero raggi X, non avrebbe dovuto mancare: il vetro di uranio adoperato dal Murani, risplendeva precisamente di quella viva fluorescenza giallo-verdastra che il d'Arsonval reputa necessaria per la produzione dei detti raggi.

La luce dei tubi di Geissler è atta, come si sa, ad eccitare la fluorescenza e la fosforescenza delle sostanze introdotte nel loro interno, o che lo circondano; ma tale fluorescenza o fosforescenza non è accompagnata dai raggi X, e però non può impressionare le lastre sensibili ricoperte di carta nera, o scaricare corpi elettrizzati come fanno i raggi X.

Tali conclusioni, mentre non sono conciliabili coi risultati del D'Arsonval, si trovano in perfetto accordo con le esperienze eseguite nell'Istituto fisico dell'Università di Napoli da F. Campanile ed E. Stromei. Questi due fisici

trovarono inoltre, che si può eccitare in punti determinati di un tubo di Geissler una fosforescenza identica a quella di un tubo di Crookes, senza mutare il grado di rarefazione del gas; ma bisogna a tal fine ricorrere a tubi senza elettrodi, e aumentare la potenza della scarica con l'introdurre dalla parte dell'anodo un'interruzione: a queste disposizioni però non allude punto d'Arsonval, il quale ha eccitato il tubo di Geissler nel modo solito, chiudendo semplicemente con esso il circuito secondario di una bobina di Ruhmkorff.

D'altra parte Ch. Henry ha annunziato che il solfuro di zinco fosforescente, interposto sul cammino dei raggi emessi da un tubo di Crookes, aumenta l'intensità delle radiazioni che hanno attraversato l'alluminio. Niewenglowski ha pure riconosciuto che il solfuro di calcio fosforescente del commercio emette radiazioni che attraversano i corpi opachi. H. Becquerel infine estende questa medesima proprietà a diversi corpi fosforescenti, e in particolare ai sali d'uranio.

Il modo di sperimentare di Becquerel è il seguente: egli involge una lastra sensibile in carta nera e pone sopra la carta una lastrina della sostanza fosforescente: esponendo in seguito il tutto al sole per qualche ora e sviluppando, trova la impressione in nero della sostanza fosforescente. Ove poi s'interponga, dice egli, tra questa sostanza e la carta un traforo metallico (siamo nelle identiche condizioni delle esperienze suddette del Murani), se ne vede l'imagine apparire sulla lastra fotografica. Avendo indi estese queste ricerche, egli trovò che siffatte radiazioni emesse dal solfato doppio di uranio e di potassio, non solo sono capaci di attraversare la carta, ma benanche lamine sottili di diversi metalli. Fin qui converrebbe pensare che la proprietà di emettere raggi analoghi ai raggi X, lungi dall'essere comune a tutte le sostanze fosforescenti, sarebbe invece peculiare ad alcune, come per esempio il solfato doppio di uranio e di potassio suddetto; ma nel progresso delle sue esperienze Becquerel trova, come Niewen-

glowski, che anche il solfuro di calcio avente una fosforescenza turchino-violetta dà gli stessi risultati dei sali di uranio e di potassio.

Questo fatto che sembra in contraddizione con l'esperienze ricordate sopra, trova la sua spiegazione in un'osservazione dello stesso Becquerel: questi avendo ripetuto la prova con solfuri di calcio, che prima gli avevano dato delle belle prove attraverso a lamine di alluminio di 2 mm. di spessore, ebbe, nelle stesse condizioni, risultati totalmente negativi. I medesimi insuccessi si ripeterono con la blenda esagonale adoperata dal Troost: questi ha constatato che esemplari antichi di tale sostanza potevano fornire delle buone impressioni, che però si andavano indebolendo da una esperienza all'altra, finchè non si ottenne più nulla; mentre campioni di blenda esagonale recentemente preparati si mostrarono sempre attivi. Becquerel conclude che il calore precipita la emissione delle radiazioni invisibili come di quelle luminose di tali sostanze fosforescenti, le quali così ben presto si esauriscono; ne nasce che esse non sarebbero attive, che quando sono preparate di recente. Inoltre non si riesce a ridonare una novella attività ai solfuri esauriti, nè riscaldandoli, nè illuminandoli con la luce del giorno o del magnesio dopo averli raffreddati a $-20°$, nè finalmente eccitandone una viva fosforescenza con la scintilla di una batteria elettrica.

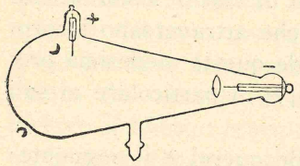


Fig. 87.

§ 53. **Varie specie di tubi; tubi-focus.** — Le imagini fornite dai raggi di Röntgen sono vere ombre proiettate da radiazioni rettilinee, onde la condizione per la loro nettezza è che la sorgente, che emette i raggi, abbia piccola estensione, tale da potersi considerare prossimamente un punto.

A tale condizione non soddisfano gli ordinari tubi di Crookes, come quelli della fig. 51 o della fig. 87. Difatti il fascio dei raggi catodici colpisce in essi una regione ben

estesa della superficie del tubo, ed è tutta questa parte che emette i raggi X; ne viene che l'impressione prodotta su schermi fluorescenti e sulla lastra sensibile perde ogni nettezza, a cagione dei dannosi effetti di penombra, non si tosto che l'oggetto si allontani o dallo schermo fluorescente o dalla lastra fotografica. Bisognerebbe in tal caso limitare con opportuni schermi la regione che emette i raggi X, ma allora una parte delle radiazioni sono prodotte in pura perdita, e le pose fotografiche diventano troppo lunghe. Si ovviò in parte all'inconveniente coll'impiego di catodi aventi forme di calotte sferiche concave, nel cui centro convergono i raggi catodici. Tagliando il fascio, dove la sua sezione è più stretta, colla superficie che deve emettere i raggi X, questa diviene attiva soltanto su d'una piccola estensione, e le imagini sono più nette.

Ma siffatta concentrazione dei raggi catodici produce uno sviluppo di calore considerevole, che arriva persino a rammollire la parete di vetro.

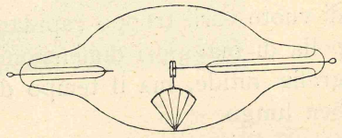


Fig. 88.

Wood evita questo inconveniente col mezzo del tubo rappresentato dalla fig. 88. Il catodo è sospeso ad una specie di puleggia ed invia sempre le sue radiazioni nella medesima direzione: per impedire il soverchio riscaldamento della parete del tubo di vetro, si fa girare questo intorno ad un asse orizzontale, in modo che la superficie del vetro nel punto dove si forma il fuoco dei raggi catodici si rinnovi costantemente. Un tubo come questo presenta delle difficoltà di costruzione, che non sono necessarie, e si possono evitare: si può, per esempio, utilizzare la proprietà dei raggi catodici d'essere deviati in un campo magnetico, per proiettare sempre nella medesima direzione il flusso emanato dal catodo. Le estremità dell' ampolla munite di calotte di metallo possono essere montate tra due punte, che conducono la corrente e permettono una rotazione lenta del tubo (fig. 89).

La fig. 90 mostra un tubo di Colardeau; esso consiste in un tubo cilindrico la cui lunghezza è di una diecina di centimetri e il diametro di un centimetro circa. Il catodo è formato da un dischetto di alluminio avente il diametro poco minore di quello del tubo; fa da anodo un filino di platino saldato lateralmente. Per impedire poi che il grado

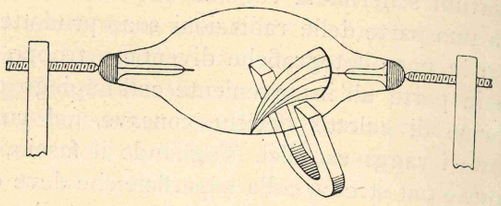


Fig. 89.

di vuoto varii troppo rapidamente, è unita al tubo un'ampolla di maggiori dimensioni. Questo tubo fornisce radiografie nitide, ma il tempo di esposizione che bisogna è ben lungo.

Nell'intento di impedire un forte riscaldamento dell'anticatodo, che sarebbe nocivo, J. L. Breton ha ideato il tubo della fig. 91: l'anticatodo è formato da un piccolo tubo, nel quale si fa circolare durante l'eccitazione una corrente di acqua fredda.

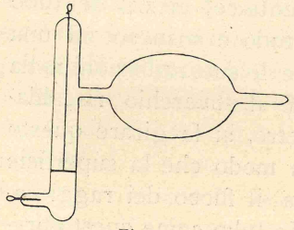


Fig. 90.

Tubi come questo potrebbero servire alla misura del calore sviluppato dal raggiamento catodico, determinando la quantità di acqua che passa nell'apparecchio, e la sua temperatura iniziale e finale.

Ma se si pensa che i raggi di Röntgen sono emanati da una superficie solida colpita dai raggi catodici, il miglior partito è di concentrare questi raggi sopra una lamina di platino posta nel centro dell'ampolla, la quale può essere portata senza inconvenienti ad una temperatura elevata.

È secondo tale idea che sono costruiti i tubi detti FOCUS, oggi universalmente impiegati, e che danno, con una posa assai più breve, imagini molto più nette di quelle dei primi tubi. Tale è il tubo della figura 92. In esso i

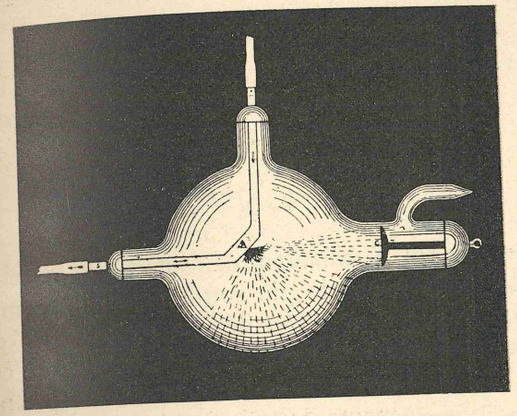


Fig. 91.

raggi catodici emessi da uno specchio sferico K di alluminio convergono presso a poco nel suo centro; quivi si trova uno specchio piano di platino A inclinato a 45° sull'asse del fascio dei raggi catodici, i quali incontrando la

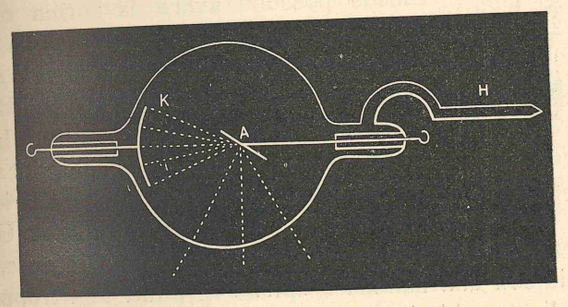


Fig. 92.

lastrina di platino danno luogo alla emissione dei raggi X: questi poi si propagano in linea retta in ogni direzione

dinanzi alla lastrina suddetta, e attraversano le pareti del vetro.

Se, come d'ordinario si fa, la lastrina di platino compie anche l'ufficio di anodo, può sotto un certo aspetto

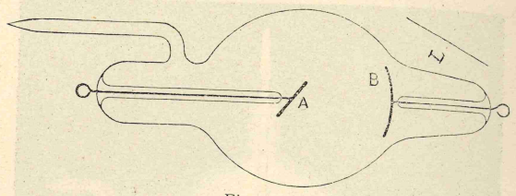


Fig. 93.

dirsi che i raggi X emanino dall'anodo. È bene che le pareti del tubo sieno le più sottili possibili, compatibilmente con la resistenza che devono opporre all'esterna pressione. Nei tubi focus bisogna evitare l'uso di correnti alternate, ed assicurarsi sempre nel momento in cui si chiude il circuito della bobina, che lo specchietto di platino non funzioni da catodo. La volatilizzazione della lastrina renderebbe ben presto il tubo inservibile.

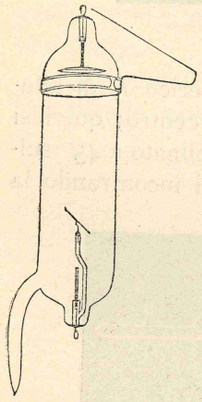


Fig. 94.

Invece della forma sferica i tubi focus possono avere la forma ovoide (fig. 93), o cilindrica come quello della fig. 94: sono di quest'ultima foggia quelli costrutti dalla Casa Greiner e Friedrichs di Stützérbach e sono eccellenti. In generale in questi tubi focus coll'anticatodo di platino il passaggio della scarica si rende a mano a mano più difficile. Giova allora riscaldarli con una fiamma non troppo intensa, per esempio con una fiamma a spirito in punti non troppo vicini agli attacchi degli elettrodi; giova pure invertirvi la scarica, ma il vantaggio è di breve durata.

Il Ròiti ha trovato utile l'espediente di appiccicare con vernice una striscia di stagnola un po' sotto al catodo,

come mostra la fig. 94, e di applicare in essa un collarino a molla d'ottone, a cui è raccomandato un filo di rame ricotto, che termina con un filino sottilissimo a breve distanza dall'anellino catodico.

Colardeau ha ideato un altro tubo della forma indicata dalla fig. 95 che lo rappresenta in vera grandezza. Esso è cilindrico, e il suo diametro non sorpassa 7^{mm}; un catodo del diametro di 4^{mm} circa occupa la maggior parte della sezione del tubo: tale catodo è concavo e il suo raggio di curvatura è d'incirca $^1/_2$ cm. Ad una distanza da 7 ad 8 mm. si trova lo specchietto piano di platino, inclinato come al solito a 45° sull'asse del tubo, la cui superficie è estesa pochi millimetri quadrati. In grazia di queste deboli dimen-

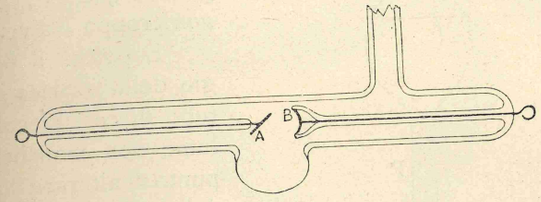


Fig. 95.

sioni trasversali l'area del fascio dei raggi catodici tagliato dallo specchietto di platino è piccolissima, e la nitidezza delle imagini si ottiene in modo certo.

Affinchè i raggi X sviluppati nell'interno del tubo possano attraversare le pareti senza essere molto indeboliti, come succede quando il vetro è troppo spesso, la parete che si trova dinanzi all'anticatodo di platino è stata soffiata in una piccola ampolla dello spessore d'un decimo di millimetro circa. Nonostante tanta sottigliezza, la solidità sua è sufficiente per resistere all'esterna pressione, in grazia delle piccole dimensioni dell'ampolla.

Se si ammette la teoria del bombardamento molecolare di Crookes, ne viene che la distanza del catodo dalla regione anticatodica che riceve tale bombardamento deve avere molta importanza. Difatti, affinchè le particelle del gas

lanciate dal catodo possano, colpendo un ostacolo solido, sviluppare dei raggi X, è necessario che esse non siano punto arrestate, nella loro traiettoria, da altre molecole che non prendono nel medesimo istante parte al bombardamento. È bene quindi che il cammino che tali particelle devono percorrere, sia il meno lungo possibile; e questa è la ragione della breve distanza a cui, in questo tubo, la laminetta di platino è posta dal catodo.

Il Colardeau ha difatti constatato, con diversi tubi nei quali si poteva portare il catodo a distanze variabili dalla parete anticatodica, che vi ha vantaggio a dare ai raggi catodici una lunghezza piccola, purchè non troppo breve.

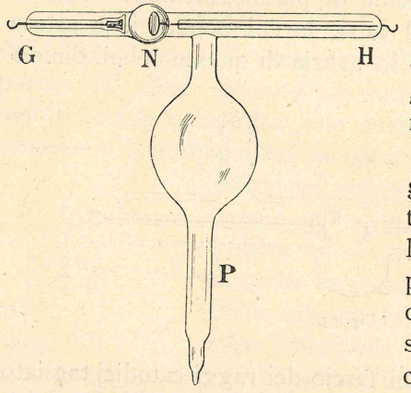


Fig. 96.

E poichè il passaggio della scarica in un tubo di così piccolo volume non mancherebbe punto di alterare il grado del vuoto, bisogna o lasciarlo in comunicazione con la pompa a mercurio per stabilirvi la rarefazione più conveniente, o saldarvi un serbatoio piuttosto voluminoso (fig. 96) contenente una riserva di gas, che contribuirà a un funzionamento normale per un tempo sufficientemente lungo.

Tubi focus così costrutti permettono d'ottenere, con durate di esposizioni assai brevi, eccellenti prove radiografiche. La fig. 97 che rappresenta un serpente, di cui tutti i particolari dello scheletro sono perfettamente visibili, è la riproduzione di una prova ottenuta con una posa di 1′, il tubo essendo posto a 25 cm. di distanza dalla lastra fotografica, e con una bobina di induzione che poteva dare una scintilla da 6 a 7 cm.

La nettezza della imagine prova che l'area d'emissione dei raggi X è pochissimo estesa.

Per meglio accertarsene, Colardeau poneva a eguale distanza, fra la lastrina di platino del tubo e la superficie fotografica sensibile, un oggetto qualunque, per esempio una penna metallica. Se la sorgente dei raggi X fosse proprio un punto, si otterrebbe una riproduzione fotografica dell'oggetto, il cui contorno sarebbe perfettamente netto, data la propagazione rettilinea, e che sarebbe amplificata nel rapporto da 1 a 2. Se il luogo di emissione ha una

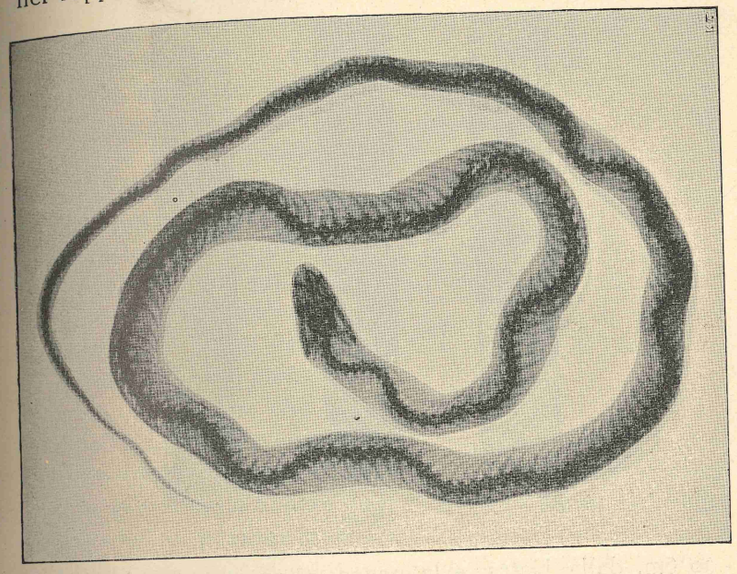


Fig. 97.

estensione, l'imagine sarà ancora ingrandita egualmente, ma i contorni saranno circondati da una penombra avente una larghezza eguale a quella della sorgente; e quindi se l'oggetto avesse una estensione paragonabile a quella della sorgente, tutta l'area sua sulla lastra sarebbe occupata da tale penombra.

Con un tubo focus ordinario, la superficie d'irraggiamento ha almeno l' estensione di un pennino, mentre essa è assai minore nel tubo del Colardeau, come mostra la

fig. 98. La prima è l'imagine in vera grandezza della penna, ottenuta posando direttamente questa sulla lastra sensibile; la seconda e la terza sono le imagini ingrandite nel rapporto suddetto da 1 a 2; ma la seconda, nella quale la estesa penombra toglie ogni nettezza all'imagine, è stata ottenuta con un tubo focus ordinario; la terza, nella quale la penombra è appena visibile, è l'imagine fornita dal tubo in quistione. Il tubo era alla distanza di

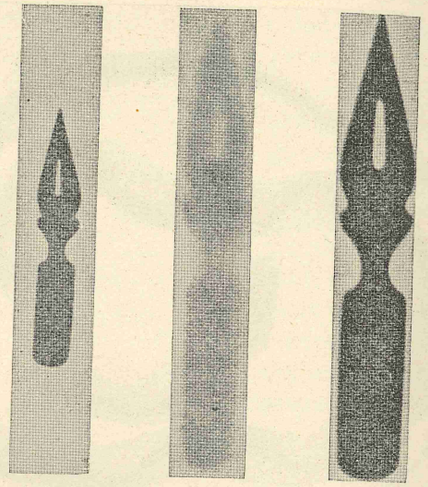


Fig. 98.

30 cm. dalla lastra, e la penna a 15 cm.; la durata di esposizione fu di 1 minuto.

L'autore ha poi verificato che il tubo, sebbene di piccole dimensioni, può impressionare una lastra ampia. Egli ha ottenuto una radiografia di dimensioni 50 cm. per 60 cm. del cadavere di un bambino di quattro mesi: l'impressione era pressochè egualmente intensa nel mezzo e nei quattro vertici; questa superficie di 30 decimetri quadrati è stata dunque perfettamente coperta dalle radiazioni del tubo, il quale però era posto alla distanza di 65 cm.

Con una bobina di grande modello, messa in azione dalla corrente di sei accumulatori, si può ottenere, con una sola apertura del primario, la radiografia della mano di un fanciullo, nella quale le ossa sono bene percettibili: è l'istantanea della fotografia con i raggi del Röntgen. Una diecina di interruzioni fornisce, con la sovrapposizione degli effetti, impressioni fotografiche ben distinte della mano di un adulto.

Per misurare la durata della posa che corrisponde a una sola apertura del primario, Colardeau fotografava una piccola ruota dentata di orologeria, lasciandola prima in riposo, e facendola in seguito rapidamente ruotare. Nel primo caso com'è evidente, la imagine è perfettamente netta; nel secondo i denti non risultano ben distinti, e i raggi vengono allargati nel senso della rotazione. Da esperienze di questa specie, il chiaro fisico è indotto a pensare che la durata dell'azione fotografica è dell'ordine del millesimo di secondo.

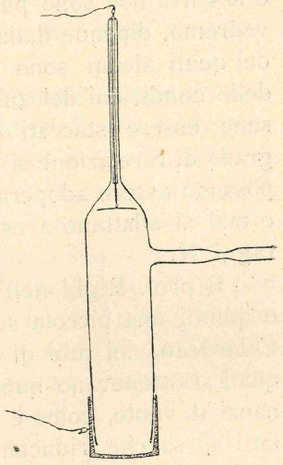


Fig. 99.

In grazia della finezza delle prove che si possono ottenere con tubi come questo, è facile produrre radiografie stereoscopiche, prendendo due imagini di uno stesso oggetto con due diverse posizioni del tubo. La sensazione del rilievo può riuscire perfetta, come con le impressioni ottenute per mezzo della luce.

Il Ròiti ha ideato un altro tubo semplice ed efficace (fig. 99) per le esperienze di Röntgen: il catodo consiste in uno specchietto concavo di alluminio col raggio di curvatura di 10 cm., ed è fissato ad un gambo parimenti di alluminio che sporge fuori del tubo; questo ha la sua estremità bene smerigliata e chiusa da una sottile lastrina

di alluminio, in modo da tenere il vuoto. Questa lastrina fa da anodo, da anticatodo e da parete: i raggi X che prendono origine su lei, quando è colpita dal fascio dei raggi catodici, vi passano attraverso in maggior copia che non succeda con il vetro. Un tubo così fatto dà imagini fotografiche ben nette ponendolo alla distanza di 12 cm. dalla lastra; con un potente rocchetto si ottiene la radiografia di una mano in un minuto ed anche meno. Le ossa riescono con questo tubo meno opache dell' anello d'oro, e le carni non sono perfettamente trasparenti: e ciò, come vedremo, dipende dalla complessità dei raggi di Röntgen, dei quali alcuni sono più penetranti di altri, a seconda delle condizioni del tubo. Ma tubi come questo non possono essere staccati dalla pompa a mercurio, poichè il grado di rarefazione si altera ben presto, e quindi essi non possono essere adoperati che dai fisici nei loro laboratori, e mal si adattano a esperienze correnti di radiografia con raggi X.

Il prof. Righi nell' intento di ottenere imagini nitide, e quindi una piccola superficie emittente, costruì, come il Colardeau, dei tubi di piccole dimensioni, per mezzo dei quali si ottenevano buoni effetti, senza spingere molto innanzi il vuoto, come è necessario con i tubi ordinari. Difatti si sa che, riducendo le dimensioni dei tubi, la scarica conserva il suo carattere, se in corrispondenza si accresce la pressione. I tubi del Righi sono cilindrici col diametro interno di pochi millimetri, e la distanza fra il catodo e la parete di fronte del tubo è di pochi centimetri. Il tubo deve restare permanentemente unito alla pompa a mercurio, e quando la rarefazione è conveniente, i raggi X ottenuti sono molto intensi. Con un tubo di 8 mm. di diametro interno e una distanza di 8 centimetri del catodo dal fondo del tubo, si otteneva l' intensità massima dei raggi X, quando la pressione interna era di un ventesimo di millimetro di mercurio, vale a dire una pressione immensamente maggiore a quella che si richiede ne' tubi ordinari.

Le ombre fotografiche sono nette e molto intense con durate di esposizione brevi: la nitidezza è dovuta, come si è detto, alla piccola superficie emittente, e quindi alla mancanza di penombra; la brevità della posa dipende dalla stessa circostanza, poichè il tubo può essere posto molto vicino alla lastra fotografica, senza che le penombre siano sensibili; inoltre il fondo del tubo può essere ridotto molto sottile, prima che ceda all' esterna pressione. Ma la sottigliezza del fondo è facile cagione di rottura; così il migliore espediente è di chiuderlo con una sottile lamina di alluminio, come nel tubo del Ròiti descritto dianzi.

Anche Chabaud e Hurmuzescu hanno trovato che nei tubi di piccole dimensioni la pressione dell' aria corrispondente al massimo d' intensità de' raggi X è relativamente elevata. Secondo questi autori, la cosa deve attribuirsi alla forma del tubo, per essere cioè il suo diametro molto più piccolo della lunghezza; secondo il Righi invece ciò deve assegnarsi non alla forma allungata, ma alle piccole dimensioni dell' insieme. Egli difatti ha osservato che facendo variare la lunghezza del tubo, ossia la distanza fra il catodo e la superficie anticatodica, la pressione corrispondente al massimo dei raggi X varia in senso inverso; il che è contrario a quanto dovrebbe accadere se fosse vero, che più il tubo è allungato e più la pressione corrispondente al massimo è elevata. Il Righi crede che i migliori effetti si ottengano con tubi, nei quali la distanza fra catodo e regione anticatodica sia eguale a 8 o 10 volte il diametro interno.

Con uno di tali tubi e con una bobina munita d' interruttore a mercurio (10 o 12 interruzioni a secondo), alimentata da una corrente di circa 12 ampère, si può ottenere la radiografia nitida delle ossa della mano in due minuti, tenendo il tubo a 10 o 12 centimetri dalla lastra sensibile: aumentando la corrente, il Righi ottiene di diminuire ancora il tempo di posa, riducendolo appena a una diecina di secondi.

Questi tubi di semplice costruzione, come l'altro del Ròiti, non possono però funzionare se sono staccati dalla pompa, perchè la pressione interna aumenta con il tempo.

§ 54. **Grado di vuoto più conveniente per la produzione dei raggi X.** — Il grado di vuoto ha, come qui sopra si è detto, la maggiore influenza sul rendimento del tubo in raggi X; moltissime sono le esperienze in proposito; noi riferiremo quelle del Ròiti, con l'avvertenza però che non sempre si possono generalizzare i risultati ottenuti con un tubo, perchè oltre il grado di vuoto influiscono la forma, la capacità, la natura e la posizione degli elettrodi, la qualità e lo spessore del vetro, ecc. Il Ròiti, per seguire le varie fasi di luminosità, metteva il tubo in serie con uno spinterometro a palline sul secondario di un grande rocchetto di Ruhmkorff, eccitato in modo da dare scintille di 6 cm. fra due punte nell'aria, con l'interruttore rapido di Deprez. L'inserzione dello spinterometro era necessaria, se nei primi stadi della evacuazione si vuol togliere il passo alle correnti indotte di chiusura, le quali turberebbero il fenomeno della luminosità dovuta a quelle di apertura, destinate a passar sole con le grandi rarefazioni. Il tubo di vetro, di forma cilindrica, era lungo 150 mm. e aveva il diametro di 40 mm.: il suo catodo era formato da uno specchietto sferico di alluminio con il raggio di curvatura di 4 cm. Una buona pompa di Geissler attaccata al tubo serviva a vuotarlo.

Trascurando gli stadi preliminari della luminosità positiva (§ 28), si può in quelli successivi, quando la rarefazione è progredita e prevale la luce negativa, distinguerne tre principalmente. Nel primo stadio lo strato dell'aeriforme più vicino al catodo è di color camoscio: segue uno spazio oscuro (lo spazio oscuro di Crookes), che, come ha rilevato Goldstein, ha una leggera tinta turchina; viene poi uno strato più esteso, che è di un color bianchiccio o violetto. In questo primo stadio si vede nel tubo il doppio cono azzurrognolo, col vertice nel centro di curvatura dello specchio; esso attraversa la luminosità

bianchiccia, e suscita la fluorescenza nella parete del vetro che è dirimpetto al catodo (regione anticatodica): le pareti del tubo si riscaldano fortemente con questo grado di vuoto, al punto da rammollirsi, se la scarica passa per lungo tempo.

Quando la rarefazione aumenta, la luminosità biancovioletta si impallidisce prima e poi si dilegua: comincia allora un *secondo stadio*, nel quale si possono portare a contatto le sferette dello spinterometro, chè da questo momento in poi passano nel tubo soltanto le scariche indotte dirette, come quelle che avendo non maggior tensione riescono sole a superare l'aumentata resistenza del tubo. Il vertice del doppio cono celeste non è più al centro di curvatura, ma più lungi dal catodo; intanto la fluorescenza del tubo si fa più viva e le pareti sono meno calde, cosicchè si può toccarle senza scottarsi. È al principio di questo secondo stadio, quando scompare la luce biancastra, che fanno la loro comparsa i raggi X del Röntgen, come si può verificare col mezzo di schermi fluorescenti, di lastre sensibili e, meglio ancora, con l'azione che hanno i detti raggi di scaricare corpi elettrizzati, come vedremo. Per ottenere i raggi X sebben deboli, con tubi che si trovano nel 1° stadio di luminosità suddetta, bisogna, come l'ha osservato il Ròiti stesso, e come l'hanno confermato Campanile e Stromei (§ 52), interrompere il circuito del tubo in modo che dalla parte dell'anodo scocchino delle scintille, le quali aumentano la fosforescenza del tubo e danno luogo alla emissione dei raggi X; in caso diverso manca ogni impressione fotografica. Una scintilla dalla parte del catodo non ha alcuna azione. La scintilla dinanzi all'anodo di conveniente lunghezza serve ad aumentare il rendimento del tubo in raggi X, anche quando questo si trova nel secondo stadio.

Spingendo più oltre ancora la rarefazione, il doppio cono si assottiglia, impallidisce, scompare; scompare anche l'aureola color camoscio ond'era soffusa la concavità del catodo: in questo *terzo stadio* lo splendore della parete

laterale è al suo massimo, il fondo del tubo è meno caldo, meno lucente, e presenta una macchia di color giallo verdastro sporco, come se un fluido color caffè la imbrattasse risalendo dal fondo verso le pareti laterali. Questo terzo stadio è il più efficace per la produzione dei raggi X: se allora si insiste nell'aumentare la rarefazione, le scariche passano sempre più difficilmente nell'interno del tubo, e cominciano delle scintille a passare fuori fra i due elettrodi, lambendo la superficie del vetro. Ma anche prima di ciò, la fluorescenza delle pareti laterali si è indebolita, e con essa la produzione dei raggi X.

Il prof. Grimaldi studiando anch'egli la produzione dei raggi X in relazione al grado di rarefazione de' tubi, è pervenuto a risultati che sono in perfetto accordo con quelli che abbiamo riferito.

Riassumendo, i raggi X sembrano fare la loro apparizione nel momento in cui, il vuoto essendo qualche millesimo di millimetro di mercurio, la luminosità bianchiccia scompare, e i raggi catodici destano la fluorescenza nella parete del vetro posta di fronte al catodo. I due fenomeni aumentano gradatamente, a misura che la rarefazione progredisce: ben presto la fluorescenza raggiunge il suo massimo, ma l'emissione dei raggi X seguita ancora ad aumentare insieme con la differenza di potenziale fra i due elettrodi. L'emissione dei raggi X non tarda però anch'essa a raggiungere il suo massimo, al quale corrisponde una rarefazione di un milionesimo d'atmosfera circa, dopo di che essa diminuisce rapidamente. Anche le esperienze di Chappuis si accordano con quelle del Ròiti: secondo il detto fisico, l'emissione dei raggi X varia con la rarefazione, nel modo che indica la curva della fig. 100, dove le ascisse rappresentano il grado di vuoto, e le ordinate la emissione corrispondente dei raggi X.

Per avere un tubo capace di produrre i raggi X in buone condizioni, non basta dunque di fare un vuoto che convenga pei fenomeni di Crookes. Quando compare la prima fosforescenza delle pareti, il vuoto è ben

lungi dall'essere quello che si richiede. Durante l'evacuazione, si può giudicare della resistenza che la scarica incontra nell'interno del tubo, dalla lunghezza della scintilla che si può ottenere fra le sferette di un eccitatore, messo in derivazione sui due elettrodi del tubo, comunicanti con i poli della bobina. Si possono ottenere i fenomeni di Crookes, quando la resistenza del tubo è così debole che la scintilla non passa fra le sferette poste a 2 o 3^{mm} di distanza. In queste condizioni uno schermo fluorescente non mostra la minima traccia dei raggi X, sebbene una lastra fotografica possa ricevere con una lunga posa una debole impressione. Ma continuando la rarefazione, la resistenza interna cresce rapidamente, e bisogna per impe-

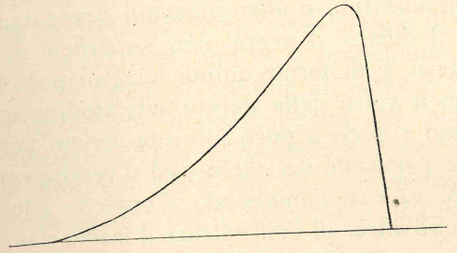


Fig. 100.

dire la scintilla esterna, allontanare le sferette di più centimetri: è in questo momento che la resistenza cresce, che i raggi X fanno la loro apparizione. Se l'ampolla è un tubo focus, esaminandolo con uno schermo fluorescente si vede, nel momento che la resistenza aumenta, svilupparsi una luce in tutto il tubo, fuorchè nel piano occupato dall'anticatodo, in corrispondenza al quale si produce sullo schermo una linea nera. Progredendo nella rarefazione, la luce dietro lo specchio a mano a mano scompare, e quella dinanzi diventa maggiore, e si finisce per osservare sullo schermo una regione chiara ed una oscura, il cui limite corrisponde al piano dell'anticatodo di platino. Il tubo è allora nelle migliori condizioni per produrre gli effetti di Röntgen.

§ 55. **Ancora dei tubi per la produzione dei raggi X.** — I primi tubi impiegati per produrre i raggi di Röntgen, e per le loro applicazioni, erano, come si è detto, quelli di Crookes aventi la forma delle fig. (51 e 54). In quello periforma si può prendere a piacere come regione anticatodica o la parete del vetro o la croce stessa, la quale è così sostituita al vetro per la trasformazione dei raggi catodici in raggi X. In quest'ultimo caso si può dire che i raggi X partono dall'anodo, e questa circostanza ha potuto far credere a qualche osservatore che in tutti i casi i raggi X emanino dell'anodo. Ma si può fare a meno della croce, e servirsi di un tubo periforma più semplice come quello della fig. 87.

Questi due tubi e altri consimili presentano, come si è notato, il difetto d'avere una superficie di emissione troppo estesa, e di fornir quindi imagini poco nitide.

Inoltre il vetro della parete anticatodica si altera ben presto; esso a poco a poco diventa bruno per la proiezione delle particelle del catodo, ed il rendimento del tubo in raggi X va così diminuendo. Conviene allora, da una esperienza all'altra, di concentrare il fascio dei raggi catodici con una calamita in punti diversi, con che si può anche diminuirne le dimensioni in modo, che le imagini fornite riescano più nette.

G. G. Meslin ha provato che siffatta concentrazione dei raggi catodici è prodotta da un campo magnetico non uniforme, ed ha trovato, sperimentando con un tubo orizzontale e respingendo i raggi catodici verso la parte superiore della calotta terminale, che v'ha concentrazione sul piano mediano verticale del tubo, se il campo è decrescente verso l'alto; e, al contrario, dilatazione se il campo decresce verso il basso; non vi ha alcuna variazione nelle dimensioni della macchia fluorescente se il campo è uniforme. Egli ha pur constatato che, agendo sui raggi catodici in vicinanza del catodo, in modo da respingerli sulla parete superiore orizzontale del tubo, conviene, per ottenere una contrazione nell'altro senso, di

impiegare un campo le cui linee di forza volgano la loro concavità verso l'alto: si ottiene allora una linea luminosa orizzontale nel piano mediano verticale, e questa linea sarà tanto più stretta, quanto più il campo è intenso.

Utilizzando l'azione di una calamita nel senso suddetto, potè il Meslin ottenere in pochi secondi la radiografia delle ossa della mano di un adulto.

I tubi che sono separati dalla pompa a mercurio e chiusi, non conservano un vuoto costante: in generale, col proseguire delle esperienze, se l'anticatodo è la parete di vetro, la pressione nell'interno sale a poco a poco e l'emissione dei raggi X diventa minore. Succede il contrario nei tubi focus ove l'anticatodo è uno specchietto di platino; in questi il gas viene assorbito, e il vuoto diventa tale che le scariche non vi si propagano più, ma esse succedono in forma di scintille all'esterno tra i due elettrodi o i reofori che li congiungono alla bobina. Se non si può lasciare il tubo in permanenza sulla pompa, la qual cosa non può farsi che da sperimentatori che hanno una certa pratica degli apparecchi di fisica, basta sovente per rimettere un tubo focus nelle primiere condizioni di riscaldarlo dolcemente con una fiamma ad alcool. I gas interni sono così con alterna vicenda assorbiti e sviluppati, e il tubo diventa periodicamente attivo ed inattivo.

Giova anche per rinvigorire un tubo d'invertirvi per poco il senso della scarica. Un altro processo indicato da Carpentier consiste nel porre un eccitatore a scintille in derivazione col tubo, e di avvicinarne le sferette a un centimetro di distanza, per esempio. In breve si possono allontanare progressivamente le sferette, e ottenere dal tubo effetti eguali od anche superiori. Si vede così che alternando nel tubo correnti intense e moderate, gli si possono restituire le sue prime qualità. Ma il rinvigorimento che si ottiene scaldando siffatti tubi focus, o invertendovi la scarica, è di breve durata. Chabaud racchiude nei tubi frammenti di potassa caustica e li riempie di ani-

dride carbonica: i residui del gas vengono assorbiti dalla potassa, e di poi restituiti, quando si scalda adagio adagio il carbonato che si forma in tal modo.

Quando la rarefazione di un tubo focus non è sufficiente, dallo specchio concavo di alluminio che funziona da catodo esce un fascio conico di raggi visibili, il quale arroventa più o meno il riflettore di platino, destinato a trasformare la radiazione catodica in raggi X, nel mentre tutto il tubo si riempie di una luce bianco-azzurrognola.

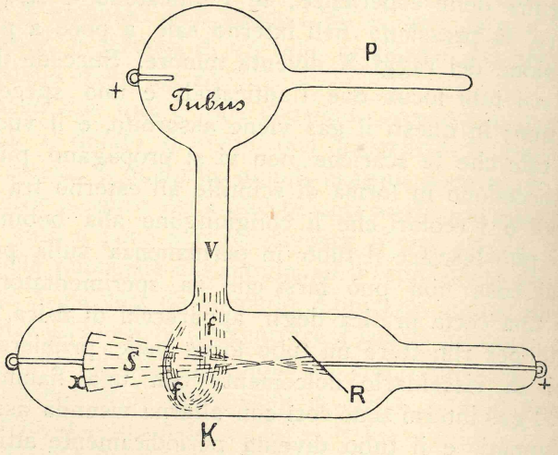


Fig. 101.

In tal caso il tubo emette pochi o punti raggi X, come si può facilmente constatare rivolgendolo a uno schermo fluorescente, che rimane oscuro o quasi.

Se, al contrario, la rarefazione vi è troppo spinta, il passaggio delle scariche nel tubo è intermittente, la fluorescenza delle pareti è debole e l'interruttore del rocchetto fa udire un rumore aspro particolare; in questo caso si osserva sul fluoroscopio una luce debole, interrotta a quando a quando da vivi lampeggiamenti.

Siemens ed Halske di Berlino hanno costrutto il tubo rappresentato dalla fig. 101, nel quale si può regolare il

grado di vuoto, in guisa che il rendimento in raggi X sia il massimo possibile con la bobina che serve ad eccitarlo.

Se la sua rarefazione è scarsa, si unisce l'elettrodo del serbatoio in alto al polo positivo del rocchetto, mentre l'elettrodo sferico concavo *x* del tubo focus si mantiene costantemente in unione col polo negativo. In breve, durante il passaggio delle scariche, la luce di Geissler, che era specialmente visibile nel tubo di comunicazione *V*, scompare a mano a mano, perchè l'aria viene assorbita dal fosforo contenuto nel tubicino *P*. Si interrompe il passaggio delle scariche, quando la luce di Geissler nel tubetto *V* si vede appena, e sulla parete di fronte all'apertura di *V*, nel punto *K*, si osserva una macchia rotonda di fluorescenza bleu-verdastra: allora il vuoto ha raggiunto il giusto grado, e proseguendo a far passare le scariche, nel modo anzidetto, potrebbe divenire troppo spinto.

Si toglie indi la comunicazione dell'elettrodo del serbatoio *(tubus)* con il polo positivo della bobina, e la si stabilisce con l'anodo *R* del tubo: per giudicare della produzione dei raggi X, si farà la osservazione con il fluoroscopio. Se il vuoto non fosse ancora sufficiente, si ripete la operazione detta qui sopra; e se accadesse che anche prolungandola per parecchio tempo, non si osservasse alcun progresso nel grado di vuoto, allora con una lampadina a spirito bisognerebbe scaldare dolcemente e per breve tempo il tubetto *P* che contiene un po' di fosforo, nel mentre si fa funzionare il rocchetto: con tale espediente si vaporizza un pochino di fosforo, che servirà ad assorbire l'aria. Se si scalda troppo, v'ha il pericolo che il fosforo passi nel tubo focus, il quale così diventa inservibile.

Quando invece il vuoto è troppo spinto, bisogna scaldare il tubo focus, ma sempre dolcemente e in punti lontani agli attacchi degli elettrodi. In tal guisa l'aria occlusa nelle pareti si libera, e la rarefazione diventa quella che ci vuole.

Si riesce con tali artifizii a regolare il grado di vuoto, in modo che lo stesso tubo, adoperato con rocchetti di potenza ben diversa, può in ogni caso dare il massimo di raggi X, corrispondente alla potenza di eccitazione. In questi tubi, specialmente con le forti scariche, avviene che lo specchietto di platino si arroventi, ma ciò non costituisce un grave inconveniente; se però l'arroventamento è forte, il platino si polverizza ricoprendo di un velo le pareti del tubo, e questo ben presto è reso inservibile.

Per conservare i tubi a lungo conviene ogni volta cominciare con correnti poco intense, che si aumentano poi gradatamente; a tal fine nel circuito primario della bobina conviene porre in serie con esso un reostato e un amperometro: e poichè potrà occorrere di conoscere anche la differenza di potenziale ai capi del primario, sarà bene riunire questi a un voltometro. Inoltre giova di mettere in derivazione con il tubo, sui poli del secondario della bobina, uno spinterometro a scintille che servirà di controllo.

Un tubo ordinario, adoperato giudiziosamente, sulle prime migliora; tale miglioramento dei tubi per la produzione dei raggi X venne primamente segnalato dal professor Battelli. Osservò questi che facendo agire un medesimo tubo per qualche ora, si possono ottenere in poco tempo impressioni che prima esigevano pose ben più lunghe.

Eccitando per parecchie ore due tubi nuovi, che non erano mai stati adoperati, sempre con la stessa corrente, e prendendo di mezz'ora in mezz'ora delle fotografie di un filo metallico a zig zag con lastre eguali, sempre con il medesimo tempo di posa, sviluppando poi le lastre in un medesimo bagno, ottenne i seguenti risultati: dapprincipio l'azione è estremamente debole; dopo due ore di eccitazione le impressioni diventano migliori, ed i tubi seguitano a migliorare sempre, finchè dopo sei o sette ore di funzionamento raggiungono il massimo di attività.

Si capisce bene che tali risultati non possono applicarsi indistintamente a ogni specie di tubi; ma è un fatto che gli elettrodi, di qualunque metallo essi siano, godono della proprietà di assorbire, durante la scarica, in modo differente i diversi gas.

Quando i tubi sono nuovi, non di rado si osserva, secondo il grado di rarefazione, oltre alla macchia verde fluorescente sul vetro, ancora una luminosità cinerea o debolmente violacea diffusa in tutto il tubo; questo si trova cioè nel secondo dei tre stadi descritti innanzi; tale luminosità in seguito diminuisce man mano fino a sparire del tutto e allora il tubo raggiunge la massima attività.

Deve dunque ritenersi che, producendosi l'assorbimento suddetto, il tubo in sulle prime si viene a grado a grado accostando alle condizioni più favorevoli per la produzione dei raggi del Röntgen: aumentando ancora la rarefazione, il che accade in breve nei tubi focus, il passaggio dell'elettricità è reso più difficile, e il fenomeno diminuisce di intensità.

Anche il vetro assorbe i gas residui, come provano alcune esperienze di Gouy. Avendo scaldato al cannello il vetro d'un tubo di Crookes, che aveva servito qualche tempo alla produzione dei raggi X, egli osservò un'alterazione del vetro che si limitava alla superficie interna del tubo, ed era più forte per il vetro della parete anticatodica che per le altre parti. Col microscopio potè scoprire che tale alterazione è sopratutto formata da una moltitudine di bolle gassose, che sono nell'interno del vetro, ma vicine alla superficie. Proseguendo nel riscaldamento, tali bolle si riuniscono, aumentano di volume e finiscono per vedersi con una semplice lente.

Dunque il vetro che fu esposto all'azione di raggi catodici intensi, svolge, quando è fortemente riscaldato, numerose bolle di gas: e poichè questo fenomeno non si produce in nessun altro caso, sembra che i raggi catodici facciano penetrare nel vetro i gas residui del tubo, i quali vi restano occlusi, fino a tanto che il rammollimento del vetro non li metta in libertà.

Parecchi fisici pensarono, allo scopo di aumentare la produzione dei raggi X, di porre nell'interno del tubo delle sostanze fosforescenti: abbiamo a tale uopo ricordato gli esperimenti di Battelli e Garbasso; ora diremo che anche Piltchikoff sperimentò nello stesso modo; ma dopo le esperienze del Ròiti, del Perrin, ecc. (§ 51), è chiaro che la fluorescenza visibile non è punto necessaria alla trasformazione dei raggi catodici in raggi di Röntgen. Nè migliori risultati si ottennero da tubi fatti con vetro di uranio.

Un' ultima osservazione intorno ai tubi focus è questa: quando l'anticatodo di platino si pone in comunicazione me-

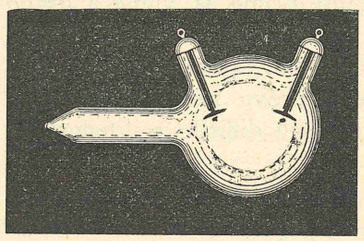


Fig. 102.

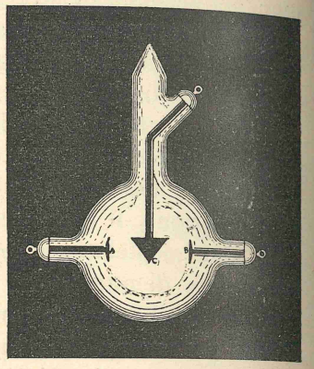


Fig. 103.

tallica con l' anodo (il quale in tal caso è foggiato come un ago), si ottengono in generale raggi più penetranti.

I tubi da impiegare con le correnti alternative, devono evidentemente esser diversi, poichè i loro elettrodi divengono a vicenda anodo e catodo: se si tratta di correnti alternative semplici, si adoperano tubi come quello della fig. 102; gli elettrodi sono entrambi di alluminio, foggiati a specchio sferico concavo, ed hanno il centro in uno stesso punto della parete di vetro; così le loro azioni si sommano. Per impedire che le scariche succedano all'esterno, bisogna che i due reofori, e quindi gli anellini degli elettrodi ai quali si uniscono, siano ben distanti.

Il tubo della fig. 103 rappresenta poi un tubo focus per correnti alternative; il raggiamento degli elettrodi *A* e *B* è diretto sulle due faccie d'un prisma triangolare, che rinviano la radiazione trasformata nella medesima direzione.

Silvanus P. Thompson, in un tubo focus avente per anticatodo una lamina di platino obliqua, introdusse fra questa e la parete di vetro, sulla via dei raggi X, un filo di alluminio. Egli trovò così, che con un vuoto abbastanza spinto si producono due imagini: una è fornita sullo schermo fluorescente esterno dai raggi X, e un' altra dai raggi catodici sulle pareti del tubo. Queste imagini hanno entrambe, come origine, lo specchio riflettente di platino; ma mentre l'imagine data dai raggi catodici può esser deviata con una calamita, o con un campo elettrostatico, quella dovuta ai raggi X non subisce alcuna deviazione, neppur quando il filo di alluminio posto entro il tubo venga elettrizzato sia positivamente, sia negativamente. A nessun grado di rarefazione poi, il riflettore trasforma tutti i raggi catodici in raggi X.

§ 56. **Azione fluorescente, criptoscopio o fluoroscopio.** — Abbiamo veduto come Röntgen scoprisse i nuovi raggi osservando la fluorescenza da essi prodotta nel platino-cianuro di bario, dopo che avevano attraversato della carta nera impermeabile alla luce. Molte altre sostanze sono pure rese fosforescenti dai nuovi raggi; basterà citare i solfuri di calcio, di stronzio, di zinco, la blenda esagonale, il fluoruro di calcio, il tungstato di calcio e parecchi altri platino-cianuri. Ma la più sensibile di tutte le sostanze è il platino-cianuro di potassio; tale proprietà venne quasi contemporaneamente segnalata dal Thompson e dal Murani; uno schermo preparato con questa sostanza diventa per l'azione dei raggi X, a parità di circostanze, molto più luminoso di un altro preparato col tungstato di calcio, come propose Edison, o con il platino-cianuro di bario, come è quello, divenuto classico, di Röntgen.

Con uno schermo sufficientemente ampio, preparato con il platino-cianuro di potassio o di bario, e con un buon tubo eccitato da un grande rocchetto, si osservano con mi-

rabile nitidezza non solo le ossa della mano, ma anche quelle delle braccia, delle gambe, e perfino le ossa del dorso e del torace. Così pure si possono ottenere le ombre di oggetti impermeabili ai raggi X, chiusi in borse di cuoio, in cassette di legno, ecc. Basterà all'uopo collocare lo schermo fluorescente a breve distanza (15 cm. circa) dalla regione attiva della sorgente, e posare l'oggetto sullo schermo: questo deve rivolgere all'osservatore la faccia coperta dallo strato fluorescente. La nettezza delle imagini dipende dalla omogeneità dello schermo e dalla sua distanza dal tubo: difatti, poichè il luogo principale di emissione dei raggi X è la macchia fluorescente nella regione anticatodica con i tubi ordinari, e con quelli focus la lastrina di platino incontrata dal fascio dei raggi catodici, ad evitare i dannosi effetti di penombra, bisogna aver cura di tenere l'oggetto a contatto dello schermo, e questo non troppo vicino al tubo produttore de' raggi X. La stessa osservazione vale per le impressioni fotografiche, o, come si dice, per le radiografie.

Per preparare gli schermi fluorescenti si prendono degli ordinari cartoncini: con un pennello si applica su una faccia uno straterello di gomma in soluzione ben densa, e poi vi si sparge con uno staccio a maglie fitte l'uno o l'altro dei sali suddetti, triturati minutamente. Bisogna però osservare che i platino-cianuri di bario e di potassio, perdono la proprietà di fluorescenza quando si sciolgono; e perciò è necessario che la soluzione sia molto densa, come si è detto, specialmente se si tratta del platino-cianuro di potassio, che è molto solubile; ed anzi, per far meglio, è più indicata per l'aderenza del sale alla carta una sostanza che non contenga acqua, nè sia igroscopica. Servono bene all'uopo o una vernice di copale e di trementina, od anche la paraffina: volendo con quest' ultima fissare la sostanza fluoroscente ridotta in minutissimi cristallini, si scalda il foglio di carta sopra una lastra di metallo portata a 100° circa; lo si sfrega di poi con un pezzo di paraffina che si fonde e forma sul foglio un velo liquido, sul quale con

uno staccio si sparge il sale. Si lascia raffreddare, e lo schermo è bello e preparato. Volendo preparare uno schermo col solfuro di calcio, che però è meno sensibile dei platino-cianuri suddetti, bisogna evitare con cura ogni traccia di acqua perchè il sale cesserebbe di esser fosforescente: allora si può adoperare della colla di pesce, ovvero apposite vernici che si trovano in commercio, e si vendono insieme con la sostanza fosforescente.

Come si vede, lo stato del sale ha la maggiore influenza sulla sua luminosità; certi sali hanno una grande sensibilità allo stato cristallino e la perdono quando sono polverizzati; altri, come il tungstato di calcio, devono essere impiegati in uno stato di estrema divisione; altri finalmente, come i due platino-cianuri citati, conservano la fluorescenza se ridotti in minutissimi cristalli, ma la perdono se si sciolgono. Vedremo del resto che la sensibilità di uno schermo fluorescente dipende anche dalla sorgente dei raggi X, ossia dal tubo.

Edison aveva annunciato che il tungstato di calcio sorpassava in sensibilità tutti gli altri sali conosciuti: ma come si è notato, l'asserzione non è giusta, perchè in tutti i casi il platino-cianuro di potassio sorpassa in luminosità il tungstato. Quest'ultima sostanza venne in Italia, la prima volta, preparata dal prof. Giazzi di Perugia: egli, dopo parecchi tentativi, riuscì a preparare il tungstato di calcio fluorescente nel modo seguente: si scalda il tungstato di calcio amorfo e secco in un fornello a coke alimentato da una corrente di ossigeno o di aria; il tungstato non si liquefa, ma assume una struttura saccaroide; ridotto in polvere finissima e di nuovo scaldato come prima prende l'aspetto del marmo di Carrara, per cui l'autore lo chiamò bisaccaroide. Volendo con esso preparare uno schermo fluorescente, si adopera una soluzione di gomma e poi con carta a smeriglio si rende omogenea la superficie.

Per fare le osservazioni, si può indifferentemente seguire il metodo di Röntgen, che è quello di rinchiudere il tubo di Crookes in una scatola di carta nera, e di por-

tare a poca distanza da esso, dinanzi alla regione anticatodica, lo schermo in modo che gli rivolga la faccia non fluorescente. Ovvero, come ideò il prof. Salvioni, si adatta lo schermo al fondo di un tubo di latta, con la faccia fluorescente rivolta verso l'interno, e lo si presenta al tubo di Crookes. In ambidue i casi, ponendo l'oggetto fra il tubo e lo schermo, molto vicino a questo, l'osservatore vedrà disegnarsi le ombre sulla faccia fluorescente. Con il primo metodo è necessario di sperimentare in una stanza buia, e bisogna che l'occhio vi sia da qualche tempo in riposo; col secondo basta che l'osservatore si difenda dalla luce della stanza, ricoprendo la testa con un panno, come fa il fotografo. Il Salvioni chiamò il semplice apparecchio *criptoscopio,* e lo completò con l'aggiunta di un oculare.

Per le osservazioni criptoscopiche è necessario adoperare l'interruttore rapido del rocchetto; quello a mercurio è troppo lento, anche quando, a diminuire il momento di inerzia, si tolga il contrappeso; la luminosità dello schermo fluorescente subisce con esso intermittenze e variazioni così forti, che l'osservazione si rende difficile.

Lo schermo preparato col platino-cianuro di bario è di un bel color giallo aranciato; quello col tungstato di calcio è di un bianco tendente un po' al roseo; l'altro con platino-cianuro di potassio è leggermente azzurrognolo. Se si esamina allo spettroscopio la luce fluorescente di questi schermi, vi si riconoscono le righe caratteristiche del metallo che forma la base del sale, ciò che è un indizio della sua decomposizione, operata dai detti raggi. Tale osservazione è dovuta a Jackson, che ha studiato con cura, da questo punto di vista, uno schermo preparato con platino cianuro di potassio.

§ 57. **Actinometri pei raggi X.** — Prima di discorrere di altre azioni dei raggi X, come la fotografica e la elettrica, stimiamo conveniente dire di alcuni apparecchi, che vennero proposti per la misura relativa della loro intensità, basati sull'azione luminescente di detti raggi.

Con uno stesso tubo di Crookes o, meglio ancora, con diversi tubi, si ottengono in generale risultati diversi secondo la forma loro e degli elettrodi, secondo le dimensioni, la natura e lo spessore delle pareti, secondo la pressione del gas, e secondo il modo di eccitamento e la frequenza delle interruzioni della corrente. Importa dunque che ciascun sperimentatore sia in grado di misurare il rendimento in raggi X del tubo da lui adoperato, affinchè possa stabilire qualche confronto con i risultati ottenuti dagli altri sperimentatori; ed è pur necessario di poter disporre di qualche mezzo comodo per esplorare il campo intorno alla sorgente, e per vedere in qual modo la radiazione si distribuisca.

Un apparecchio molto semplice, che risponde in modo sufficiente a tale intento, è quello del Meslin; come nel fotometro di Foucault, al quale rassomiglia, si produce in esso la eguaglianza di chiarezza delle due metà contigue di uno schermo fluorescente di platino-cianuro di bario; ma una di dette metà è resa fluorescente dai raggi X, e l'altra dalla luce di una fiamma, che si prende come termine di confronto, facendola prima passare attraverso a un vetro colorato in modo conveniente, per dare al platino-cianuro la medesima tinta dei raggi X.

Proiettando uno spettro puro sopra lo schermo fluorescente suddetto, l'autore ha osservato ch'esso presentava la più viva fluorescenza nella regione compresa tra le righe *F* e *G*, ossia con onde di circa 46 milionesimi di centimetro di lunghezza, e che la sua luce è allora prossimamente eguale a quella che emette, quando è eccitato dai raggi X.

Bisogna pertanto, nel fine di paragonare le due metà dello schermo, che la lastra suddetta non lasci passare che luci molto vicine a queste; possono servire allo scopo un vetro bleu violetto o un foglio di gelatina convenientemente colorata. A facilitare la comparazione poi, è bene che il cerchio fluorescente spicchi su un fondo oscuro.

Così l'apparecchio si compone di una piccola cassetta rettangolare, il cui fondo inclinato di 45° porta lo schermo

fluorescente; un tramezzo metallico divide per il lungo la cassetta e lo schermo in due parti eguali. Una delle due metà è illuminata dai raggi X, l'altra dalla luce della fiamma filtrata attraverso la lastra di vetro suddetta: l'apertura per la quale entrano i raggi X, si chiude con un foglio sottile di carta nera, per impedire che la luce verdastra dovuta alla fluorescenza del tubo di Crookes aggiunga il suo effetto a quello dei raggi X. Per osservare l'aspetto dello schermo si pone l'occhio all'estremità di un tubo, che sormonta un foro praticato nella parete superiore.

Quando si vuol fare una misura, si regolano, come con la luce, la distanza della fiamma unitaria e quella del tubo di Crookes, in modo che le due parti dello schermo siano egualmente chiare: converrà, com'è evidente, spo-

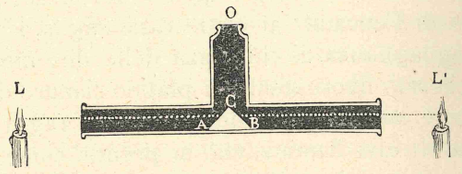


Fig. 104.

stare soltanto la fiamma. Si potrà con questo semplice apparecchio verificare la legge dell'inversa del quadrato della distanza; e si potrà anche studiare l'assorbimento di corpi diversi pei raggi X, ponendoli dinanzi alla carta che chiude l'apertura della cassetta corrispondente al tubo di Crookes.

Il Ròiti ha ideato un attinometro per i raggi X simile al fotometro di Ritshie; ricorderemo che questo consiste in un prisma *A B C* (fig. 104), di cui le faccie *C A* e *C B* sono piane ed egualmente inclinate sugli assi dei due tubi ad angolo retto, i quali sono anneriti internamente. Quando l'occhio posto in *O* non discerne differenza alcuna di chiarezza, le intensità delle due sorgenti *L* ed *L'* stanno tra loro come i quadrati delle distanze *C L*, *C L'*.

Nell'attinometro pei raggi X, il prisma triangolare rettangolo si trova nel fondo d'un tubo prismatico a base quadrata, e davanti allo spigolo del prisma è posto un diaframma opaco con foro centrale. Due finestre praticate nelle pareti laterali del tubo si possono chiudere col mezzo di opportuni schermi, e un oculare è applicato all'estremità anteriore del tubo per osservare le due faccie laterali del prisma. Queste sono coperte da uno strato fluorescente di platino-cianuro di bario: i tubi e il prisma sono di lastre d'ottone rivestite di piombo. Quando si vogliono confrontare due specie di raggi X provenienti da due sorgenti, si chiudono le due finestre laterali con due diaframmi eguali di carta nera; allora collocando l'attinometro su d'un banco graduato fra le due sorgenti, il POTERE FOSFOGENICO di queste si desumerà applicando la legge dell'inversa del quadrato delle distanze, e determinando il punto ove le due faccie presentano il medesimo splendore.

Per le misure riesce comodo di tenere le sorgenti a distanze fisse e di spostare il prisma. Quando l'uniformità di chiarezza è stata raggiunta, se si colloca davanti alle finestre due lamine identiche d'una stessa sostanza, si potrà vedere quale delle due sorgenti fornisca raggi più penetranti per la sostanza delle lamine.

Per avere un termine di confronto costante, si fa uso di una lampadina ad incandescenza racchiusa in una lanterna con vetri di cobalto; un altro vetro di cobalto è posto dinanzi alla finestra corrispondente: questi vetri devono essere scelti in modo che la luce che passa attraverso ad essi comunichi alla faccia del prisma fluorescente la medesima tinta dell'altra faccia colpita dai raggi X.

Volendo poi studiare l'assorbimento dei raggi X operato dai liquidi, conviene che il prisma scorra fra le due sorgenti lungo un regolo verticale: in alto un supporto snodato porta un tubo di Crookes; nel mezzo si trova il prisma chiuso nella sua custodia, la quale ha nella parte superiore una finestra che può chiudersi con le lastre che si vogliono studiare, ed un'altra finestra nella faccia

inferiore, chiusa con vetro di cobalto. All'estremità inferiore è posta la lampadina che serve di paragone, la quale si copre con la sua custodia di vetri di cobalto.

Di fronte al regolo prismatico si fissa una colonnina con due cursori, i quali sono destinati a reggere la vaschetta contenente il liquido, fatta con ebanite o con carta paraffinata. Dopo aver fissato il cursore all'altezza voluta, si può farlo ruotare attorno ad un asse verticale, sia per portare la vaschetta o l'oggetto davanti all'attinometro, sia per allontanarnelo.

Se si tiene la stanza in una semioscurità, e si ha cura di non guardare il tubo quando splende e di non stancare l'occhio col guardare continuamente il prisma, le osservazioni riescono sicure ed esatte.

Con l'aiuto di uno schermo fluorescente, si può facilmente constatare la non omogeneità dei raggi X (§ 58). Questi penetrano solo le carni e non le ossa, quando sono ma forniti da certi tubi, dove il vuoto non è molto spinto aumentando il grado di vuoto, e con ciò la differenza di potenziale fra gli elettrodi, i raggi X penetrano non solo le carni ma anche le ossa. V' ha dunque un certo grado di vuoto pel quale la differenza fra la trasparenza delle carni e delle ossa è massima.

§ 58. **Criptocrosi.** — La complessità dei raggi X fu subito intravista da molti fisici, fra i quali Benoist e Hurmuzescu che la avvertirono studiando la trasparenza pe'detti raggi di alcune sostanze; ma si deve al Ròiti importanti studi su tale argomento. Egli valendosi del suo attinometro, ha messo fuori di dubbio che i raggi X formano una radiazione complessa, nel senso che essi sono di qualità diverse; esiste cioè una colorazione di tali raggi, da lui detta CRIPTOCROSI, sull'esempio del Melloni, che chiamò TERMOCROSI la diversa qualità dei raggi calorifici oscuri.

Si sa che il vetro comune lascia passare i raggi di una lampada ad olio in maggior proporzione di quelli di una lampada ad arco; e però, se si pone una pila termoelettrica fra queste due sorgenti, e si regolano le distanze in modo che il galvanometro non devii, collocando dinanzi alle faccie di quella due lastre di vetro eguali, la deviazione avviene, e il verso indica che la faccia rivolta alla fiamma ad olio si riscalda più dell'altra.

Allo stesso modo il *potere penetrante* del raggi X emanati da due tubi è in generale diverso; il Ròiti ha sempre però trovato che i raggi di quel tubo i quali riuscivano più penetranti per una sostanza, godevano la stessa proprietà per tutte le altre: le sostanze cimentate ridotte in lastrine furono parecchie, come vetro, mica, alluminio, osso, legno, ecc., ecc.

Collocati sul banco i due tubi presi in esame, in modo che i loro anticatodi fossero ad una distanza fissa, la quale il più delle volte era di 40 cm., si ricercava coll'attinometro il punto in cui appariva uniforme il suo campo; e poi si mettevano davanti alle finestre due lastre fra loro identiche, per vedere se l'uniformità era turbata, e conchiuderne che una stessa sostanza può essere attraversata in grado diverso dai raggi X prodotti da sorgenti diverse.

Il risultato di numerose esperienze fu che in generale la interposizione delle due lastre eguali tubava l'uniformità del campo dell'attinometro: se ne deduce che avevano maggior potere penetrante i raggi X emessi dalla sorgente, che si trovava dinanzi alla faccia più chiara del prisma.

Dalle sue esperienze l'autore rileva, che il potere penetrante non dipende soltanto dalle condizioni dell'aeriforme chiuso nel tubo, ma ancora e più dalla sostanza che costituisce la parete che fa da anticatodo. I tubi a tale uopo adoperati erano quelli con anticatodo di alluminio (fig. 99), e quelli focus della casa Greiner di Stützerbach (fig. 94): fra i molti provati, l'autore ne trovò due coppie dotate dello stesso potere penetrante; una era di vetro di Turingia, ed un'altra di vetro al borace: per esse la differenza di potenziale agli elettrodi, la quantità di elettricità che vi passa, il grado di rarefazione che certamente dovette mutare nel corso delle lunghe esperienze, non esercitano che

un'azione secondaria sul potere penetrante dei raggi X emessi.

Se si fa scoccare una piccola scintilla fra l'anodo di uno dei tubi e il reoforo del rocchetto, e si colloca l'attinometro nel punto del banco dove le due parti del campo riescono egualmente chiare, quando si ponga poi davanti alle due finestre due lastre eguali, si oscura di più quella metà illuminata dal tubo senza scintilla. Una scintilla quindi dal lato dell'anodo accresce il potere penetrante dei raggi emessi, anche nei casi che ne indebolisce il potere fosfogenico.

Inoltre i raggi X che hanno attraversato un dato corpo, acquistano un potere penetrante maggiore di quello che avevano entrandovi: questa osservazione era già stata fatta da Benoist e Hurmuzescu, che sperimentavano in altro modo, come vedremo. Posta una lastra davanti ad una finestra, e ricercato il punto dove il campo dell'attinometro presentava nelle due parti lo stesso splendore, la ulteriore interposizione dalle due parti di lastre, fra loro identiche, turbava la uniformità nel senso che appariva più luminosa quella faccia del prisma, sulla quale arrivavano i raggi che avevano attraversata la prima lastra. Le lastre adoperate furono di ebanite, vetro, alluminio, rame, latta, e si ebbe sempre il medesimo risultato, qualunque fossero le condizioni della eccitazione dei tubi; talchè parrebbe che i raggi X, attraversando una data sostanza, acquistino la proprietà di essere meno assorbiti, non solamente dalla sostanza medesima, ma anche dalle altre.

Sperimentando poi con tubi che danno raggi diversamente penetranti, che è il caso più comune, si trova che i raggi che penetrano meglio una sostanza, penetrano meglio anche tutte le altre; però la penetrazione dei raggi non va di pari passo con il potere fosfogenico, perchè facendo in modo che due tubi a differenti distanze destino nell'attinometro la medesima fluorescenza, si trova poi, con la interposizione di lastre eguali, ch'essi hanno diverso potere penetrante: e, in molti casi, un tubo di minore potere fosfogenico può emettere raggi più penetranti. Un tubo poi può dare raggi più penetranti di un altro, anche quando la differenza di potenziale ai suoi elettrodi sia minore.

I tubi col piatto di alluminio (fig. 99) superano pel potere penetrante tutti gli altri; tale proprietà dipende forse dal maggiore spessore della parete attraversata, giacchè, come si è detto, la penetrazione aumenta dopo che i raggi hanno attraversato un solido.

Concludendo, il potere penetrante dei raggi X aumenta con la rarefazione, con la differenza di potenziale agli elettrodi, e forse anche con la distanza fra catodo ed anticatodo, sebbene giovi a tale proposito ricordare che nel tubo di Colardeau tale distanza sia piccola, eppure, da quanto riferisce questo fisico, pare che i raggi forniti siano ben penetranti. Ma oltre le dette condizioni, influiscono sul potere penetrante anche la natura dei corpi attraversati, e probabilmente la sostanza che è sede della loro emanazione.

Il *potere assorbente relativo* dei vari corpi pei raggi X deve dipendere, per quanto precede, dalla sorgente: il Ròiti l'ha verificato col mezzo di due tubi, i cui raggi avevano mostrato la maggior differenza di penetrazione, un tubo cioè col piatto di alluminio che diremo *K*, ed un tubo come quello della fig. 94 che indicheremo con *H*. Dopo aver posto l'attinometro nel punto di splendore uniforme, collocava davanti a ciascuna finestra dell'apparecchio una lastrina di ebanite dello spessore di mm. 2,7; per tentativi si determinava poscia lo spessore (mm. 0,7) di una lastrina di alluminio che posta in luogo dell'ebanite dinanzi a *K*, non turbava la uniformità di chiarezza; indi, permutando alluminio ed ebanite, succedeva che era più chiaro il lato rivolto ad *H*; dunque l'alluminio, che pei raggi di *K* era equivalente all'ebanite, assorbiva meno quelli di *H*. Una lastrina di mica di mm. 1,3, equivalente a mm, 2,7 di ebanite pei raggi di *K*, messa davanti ad *H* rendeva invece più oscura la faccia del prisma rivolta a questo tubo.

Il Ròiti sperimentò anche confrontando la fluorescenza destata sul platino cianuro di potassio dalla luce emessa da una lampada ad incandescenza chiusa in una lanterna a vetri di cobalto, con la fluorescenza dello stesso colore destata sull'altra faccia del prisma dai raggi X, che avevano attraversato il cartone. Facendo passare le due specie di radiazioni attraverso a due schermi eguali, si spostava l'attinometro sino a raggiungere la uniformità del campo; poi si sostituiva ad una lastrina un' altra equivalente, tale cioè da non turbare la uniformità del campo. Ripetendo la stessa esperienza con un secondo, un terzo tubo, ecc., tale uniformità riusciva invece alterata.

Si deduce che il potere assorbente relativo delle varie sostanze dipende dalla specie dei raggi X, ossia dalla sorgente che li emette; cosicchè le scale di trasparenza de'vari corpi stabilite per questi raggi non hanno un carattere assoluto.

Le esperienze riferite sin qui provano solamente, a tutto rigore, che tubi di Crookes diversi emettono raggi X dotati di diverso potere penetrante; e non già che i raggi X emessi da *un medesimo* tubo siano complessi. Il Ròiti ha dato però anche la dimostrazione sperimentale di questo ultimo fatto. A tal'uopo egli scelse un tubo focus con anticatodo di platino; il prisma dell'attinometro era protetto, dalla parte rivolta al tubo, con un cartone, e con vetri di cobalto dalla parte rivolta alla lampadina.

L'attinometro essendo mantenuto alla distanza fissa di 10 cm. dall'anticatodo di platino, si spostava la lampadina per ottenere la uniformità del campo. Due lastre di rame (mm. 0,10 ciascuna), otto lastre di alluminio (mm. 0,75), sedici foglie di stagno (mm. 0,02) si equivalevano. Se ad uno di questi tre gruppi, si sostituiva il sistema composto da una lastra di rame e da quattro di alluminio, non si osservava alcuna differenza; ma il sistema formato da quattro lastre di alluminio e da otto foglie di stagno rendeva più oscuro il campo rivolto al tubo, e lo stesso faceva il sistema formato da una lastra di rame ed otto foglie di stagno. L'effetto poi esercitato da siffatti sistemi di due metalli non muta al mutare dell'ordine con il quale i metalli si succedono. Queste esperienze fanno riscontro alle altre dell'ottica di ricercare, per esempio, due vetri rossi fra loro eguali, che lascino passare tanta energia raggiante quanta ne lascian passare due vetri verdi pure eguali fra loro, e poi di verificare che il sistema composto da uno di quei vetri rossi e da uno di quei vetri verdi è più opaco di ciascuno delle coppie isocromatiche.

Il Salvioni ha ideato un altro apparecchio, che permette di confrontare, con buona approssimazione, le luminosità eccitate dai raggi X su schermi fluorescenti. Per intenderne il principio, si supponga di avere limitato con opportuni diaframmi un fascio sensibilmente parallelo di raggi X, così che il fascio abbia la stessa intensità in ogni punto della sezione. Collocando sul tragitto de'raggi un piccolo schermo fluorescente S_1, la quantità di energia che nell'unità di tempo arriva sull'unità di superficie di S_1, sarà E sen α, essendo E l'energia che arriva su un centimetro quadrato normale ai raggi, e α l'angolo che il piano dello schermo fa con la direzione de'raggi. E se si suppone che la quantità I_1 di luce visibile destata dai raggi sullo schermo, per effetto di fluorescenza, sia proporzionale ad E, si potrà scrivere $I_1 = K_1 E \operatorname{sen} \alpha$, dove K_1 misura l'eccitabilità dello schermo S_1 in quelle condizioni: tale coefficiente oltre che dalle qualità dello schermo, dipende anche dalla differente qualità di raggi X che compongono la radiazione E. Accanto ad S_1, pongasi un secondo schermo fluorescente S_2, che formi col primo l'angolo γ (fig. 105), e con la direzione de'raggi l'angolo β; sarà analogamente

$$I_2 = K_2 E \operatorname{sen} \beta$$

avendo indicato con I_2 e K_2 la quantità di luce e il potere fluorescente dello schermo S_2.

Si può quindi ottenere $I_1 = I_2$, rendendo solidali i due schermi e facendo variare gli angoli α e β col ruotare opportunamente i due schermi. Se si indica con ε l'angolo

che la bisettrice dell'angolo de' due schermi fa con la direzione de' raggi, si ha

$$I_1 = K_1 E \operatorname{sen}\left(\frac{\gamma}{2} - \varepsilon\right) \quad ; \quad I_2 = K_2 E \operatorname{sen}\left(\frac{\gamma}{2} + \varepsilon\right);$$

e se i due schermi sono girati in modo da riuscire egualmente luminosi,

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\operatorname{sen}\left(\frac{\gamma}{2} + \varepsilon\right)}{\operatorname{sen}\left(\frac{\gamma}{2} - \varepsilon\right)}. \tag{1}$$

Il Salvioni addossa i due schermi che si vogliono confrontare alle due faccie di un prisma equilatero di flint, in modo che la sostanza fluorescente sia rivolta al prisma.

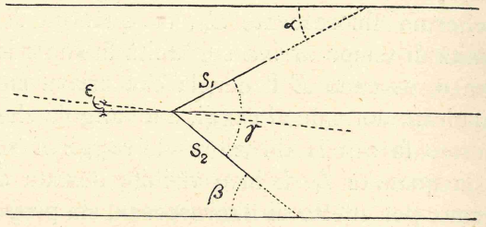


Fig. 105.

L'angolo γ è così di 60°, e guardando con un oculare, si vedono i due schermi fluorescenti per riflessione totale, l'uno a fianco dell'altro. Allora non resta che far ruotare il prisma, finchè essi paiono egualmente luminosi, e, letto l'angolo ε su un cerchio graduato di cui l'apparecchio è provveduto, applicare la formola suddetta.

Con questo apparecchio il Salvioni ha verificato e confermato i risultati sperimentali del Ròiti, che abbiam detto innanzi.

BIBLIOGRAFIA.

Battelli e Garbasso, *Sopra i raggi del Röntgen* (*Nuovo Cimento*, serie 4.ª, vol. III; gennaio 1896).

A. Imbert et H. Bertin-Sans, *Diffusion des rayons de Roentgen* (*Comptes Rendus*, t. CXXI, p. 524; séance 2 mars).

O. Murani, *Sperimenti sui raggi Röntgen* (*Memorie del R. Istituto Lombardo di scienze e lettere*, v. XVIII-IX della serie 3.ª, fasc. 1).

A. Sella e Q. Majorana, *Ricerche sui raggi di Röntgen* (*Accademia dei Lincei*, vol. V, serie 5.ª; 16 febbraio 1896).

Goldstein, *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 717.

Roïti, *Atti R. Accademia Lincei*, serie 5.ª, t. V; sedute 1 e 15 marzo 1896.

Poincaré, *Révue générale des sciences* (t. VII, n. 2; 30 gennaio 1896).

F. Campanile ed E. Stromei, *La fluorescenza dei raggi X nei tubi di Crookes e di Geissler* (*Rend. della R. Acc. delle Scienze Fis. Mat. di Napoli*, fasc. 3.°; marzo 1896).

Ch. Henry, *Comptes Rendus*, t. CXXII, 10 febbraio 1896, p. 312.

Henry Becquerel, *Comptes Rendus*, t. CXXII, 17 février 1896, p. 385.

Nievenglowski, *Comptes Rendus*, t. CXXII, 24 février 1896, p. 421.

Silvanus P. Thompson, *Comptes Rendus*, t. CXXII, p 807.

F. Giazzi, *Nuovo Cimento*, serie 4.ª, t. III; maggio 1896.

P. Salvioni, *Studi sui raggi di Röntgen* (*Atti dell'Accademia medico chirurgica di Perugia*, vol. III, fasc. 1-2, 1896).

TROOST, *Sur l'emploi de la blende hexagonale artificielle pour remplacer les ampoules de Crookes* (*Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 564; *Ibid.* p. 694).

A. ROÏTI, *Un buon tubo per le esperienze di Röntgen* (*L'Elettricista*, Anno V, n. 6).

E. COLARDEAU, *Perfectionnements à la construction des tubes de Crookes destinés à la photographie par les rayons de Röntgen* (*Eclairage Electrique*, t. VIII, n. 29; 18 luglio 1896).

A. ROÏTI, *Criptocrosi* (*R. Acc. dei Lincei*, serie 5.ª, *Mem. della cl. di sc. fisiche, mat. e nat.*, v. II; luglio 1896). *Un'altra esperienza di criptocrosi* (*Ibid.* vol. V, 2.° sem.e, serie 5.ª, fasc. 5.°).

SILVANUS P. THOMPSON, *The Electrician;* 25 giugno 1896.

G. MESLIN, *Sur l'emploi des champs magnétiques non uniformes dans la photographie par les rayons X* (*Comp. Rendus*, t. CXXII, pag. 776).

GOUY, *Sur la pénétration des gaz dans les parois de verre des tubes de Crookes. Comp. Rendus*, t. CXXII, p. 775.

RIGHI, *Sulla propagazione dell'elettricità nei gas attraversati dai raggi di Röntgen* (*Mem. della R. Acc. delle scienze dell'Istituto di Bologna*, serie 5.ª t. VI). Questa memoria ne riassume molte altre dello stesso Autore, pubblicate sull'argomento, dal 9 febbraio 1896 in poi.

E. SALVIONI, *Un metodo per confrontare gli schermi fluorescenti. — Atti dell'Acc. Medico-Chirurgica di Perugia*, v. VIII, fas. 4.°, 1896.

CAPITOLO V.

AZIONI FOTOGRAFICHE — TRASPARENZA DELLE SOSTANZE PEI RAGGI X.

§ 59. **Azioni fotografiche.** — L'azione attinica dei raggi luminosi varia di intensità con la lunghezza d'onda del raggio che l'esercita, e con la specie dei corpi che ne assorbono l'energia: essa va considerata come un fenomeno di risonanza, e dovrebbe mancare quando le vibrazioni eteree non avessero un periodo conveniente.

L'azione fotografica in particolare, dovuta ad una data radiazione, non è poi soltanto una funzione della quantità totale di energia che colpisce la lastra sensibile, ma dipende anche dell'intensità: vale a dire che in definitiva l'energia necessaria a impressionare una lastra è tanto maggiore, quanto più debole è la radiazione. Se la luce che colpisce la lastra è ridotta ad $\frac{1}{n}$, il tempo necessario a produrre lo stesso effetto finale deve aumentare più di n volte. Inoltre una illuminazione intermittente ha un'azione minore di una continua, che abbia la medesima durata complessiva, e la differenza è più cospicua se l'illuminazione è debole. Ora sappiamo che anche i raggi X esercitano un'azione fotografica, ed anzi A. Londe ha constatato che la sensibilità delle lastre pei raggi X va di pari passo con quella che esse hanno per la luce: e poichè l'estinzione dei raggi X è estremamente rapida (§ 53), e l'azione loro, ad ogni scarica, può ritenersi istantanea, si comprende come l'azione complessiva che esercitano è

tanto minore, quanto più debole è la intensità. Essendo così le cose, giova, per ottenere un effetto dato con una posa breve, spingere l'eccitazione de'tubi.

I fratelli Augusto e Luigi Lumière, famosi fotografi di Lione, hanno confermato il risultato di Londe, ed hanno inoltre osservato che i raggi di Röntgen agiscono egualmente su lastre al gelatino bromuro colorate e sensibilizzate sia per il rosso che per il giallo o il verde, alla condizione però che esse abbiano la stessa sensibilità generale per la luce bianca.

In un'altra serie di prove essi hanno comparato l'assorbimento dei raggi X operato dai preparati sensibili a quello della luce; avendo esposto sotto un traforo metallico un pacco di 250 fogli di carta sensibile al gelatino bromuro, posti l'uno sopra dell'altro e protetti dall'azione diretta dalla luce, essi verificarono, sviluppandoli, che una esposizione di 10 minuti ai raggi X aveva impressionato i primi 150 fogli: aumentando il tempo di posa, tutto il pacco rimaneva impressionato. Hanno anche osservato che per produrre lo stesso assorbimento dei 150 fogli di carta sensibile, occorrevano 300 fogli di carta bianca, la qual cosa indica che la pellicola sensibile assorbe i raggi nella stessa misura del foglio che la sostiene. I raggi delle ordinarie sorgenti di luce producono effetti diversi, poichè dopo il loro passaggio attraverso ad un piccol numero di fogli sensibili non producono più alcun effetto.

Ma se i raggi Röntgen consistono in una forma di energia diversa da quella della luce, riesce difficile comprendere come essi possano impressionare le lastre fotografiche. V'ha modo di ovviare alla difficoltà, supponendo con Röntgen che l'azione fotografica loro sia secondaria, vale a dire dovuta alla fluorescenza o della lastra di vetro che serve di sostegno alla pellicola sensibile, od anche a quella della pellicola stessa. Se la cosa è così, dovrebbe la natura del supporto influire sul grado d'impressionabilità. Battelli e Garbasso hanno paragonato sotto questo

punto di vista delle lastre Lumière con pellicole al celluloide e con pellicole autotese. A tale uopo tagliavano un pezzo di lastra e due pezzetti di ciascuna delle due pellicole, e ponevano ogni cosa nella solita scatola, interponendo un foglio di carta nera fra gli strati sensibili e la tavoletta di legno rinchiusa nella scatola. Le esperienze ripetute parecchie volte diedero costantemente questo risultato che la pellicola autotesa si impressionava tanto bene come la lastra Lumière, invece la pellicola su celluloide riesciva assai meno impressionata. Quest'ultimo fatto venne pure constatato dal Murani.

Vuol dire che la fluorescenza, se fluorescenza vi è, ha sua sede principalmente nello strato sensibile, ma può essere modificata dalla natura del corpo su cui la pellicola riposa.

In fotografia, il supporto della sostanza sensibile gode un'azione più importante di ciò che comunemente si crede. Un'esperienza che conferma tale opinione, per quanto si riferisce all'azione fotografica dei raggi X, è dovuta ai signori Eder e Valenta. Gli abili fotografi di Vienna hanno trovato che le lastre al collodio sono insensibili a questi raggi.

I due professori di Pisa guidati da tali idee, posero sotto una pellicola sensibile un disegno qualunque ritagliato in carta preparata al platino-cianuro di bario. Sottoponendola all'azione del tubo di Crookes per pochi secondi e sviluppando, essi trovarono la pellicola fortemente impressionata nei punti che riposavano sulla carta fluorescente, meno negli altri. Questa esperienza indica una via per abbreviare la posa, quando si vogliano ottenere impressioni fotografiche coi raggi X.

Al contrario, esperienze del Sandrucci e di R. Colson proverebbero che i raggi X esercitano un'azione diretta sulla lastra fotografica, indipendentemente da ogni trasformazione dovuta al supporto o allo stesso strato sensibile.

Riflettendo difatti che i raggi X agiscono sugli schermi luminescenti, decomponendo in parte il sale di cui sono

formati (§ 20), sembra naturale ch' essi possano spiegare un'azione simile sulla lastra fotografica, separando nei ioni il sale aloide d'argento.

Il Sandrucci prendeva, a tale uopo, una lastra Lumière, e, dopo averla denudata interamente della pellicola sensibile, la tagliava in due parti eguali. Una metà la sovrapponeva direttamente alla pellicola sensibile di una seconda lastra, e chiudeva ogni cosa in una busta di seta ben omogenea e opaca perfettamente alla luce ordinaria: con l'altra parte copriva la seconda metà della lastra sensibile, frapponendo però fra la pellicola sensibile e il vetro un pezzo della stoffa suddetta. Con tale disposizione i raggi X giungevano ad una metà dello strato sensibile dopo avere attraversato prima la seta, poi la lastra di vetro: e all'altra metà invece dopo avere attraversato prima il vetro e poi la seta. Gli ostacoli frapposti erano dunque, sebbene in ordine inverso, gli stessi; ma se gli effetti di fluorescenza avessero in realtà una notevole importanza, l'impressione delle due metà della lastra sensibile avrebbe dovuto essere diversa; poichè se in un caso la luce di fluorescenza poteva direttamente agire, nell'altro non poteva esercitare azione alcuna per l' interposizione di un corpo opaco alla luce. Il tubo di Crookes periforme eccitato da un rocchetto di piccola potenza, era posto in modo simmetrico, alla distanza di circa 15 cm. dalla lastra. Sviluppando la lastra, dopo una lunga posa, le sue due metà apparvero impressionate allo stesso modo.

Secondo Winkelmann e Straubel i corpi trapassati dai raggi X emettono questi raggi non dalla superficie soltanto, ma anche dall'interno, in tutte le direzioni; cosicchè essi rispetto ai detti raggi si comportano non come i corpi diafani, rispetto alla luce, ma piuttosto come i corpi pellucidi, quali il vetro smerigliato, l'opale, ecc.: si avrebbe, in altre parole, un fenomeno analogo all'opalescenza. Si comprende allora come la distanza dello schermo che protegge la lastra dalla luce, debba avere influenza sulla nitidezza del contorno delle ombre: poichè quando esso fosse

posto lontano dalla lastra, dai punti suoi colpiti si dovrebbe avere una diffusione di raggi in tutte le direzioni verso la pellicola sensibile, e l'ombra dell'oggetto collocato fra il tubo e lo schermo non potrebbe disegnarsi nettamente. Ma il Sandrucci prendendo due radiografie di un oggetto opaco ai raggi X (una calamita), una volta tenendo la lastra quasi a contatto di uno schermo di cartone, e un' altra alla distanza di 33^{mm}, essendo sempre la stessa la distanza dell' oggetto dalla lastra sensibile, ottenne due radiografie identiche.

Dunque per la chiarezza delle imagini non ha sensibile influenza la posizione dello schermo che difende la lastra sensibile dalla luce, quando esso è di cartone: ciò che conta è la distanza dalla lastra dell'oggetto, di cui si vuol prendere la radiografia. La diffusione suddetta pertanto o non esiste per la carta, o è debolissima.

Interessanti sono pure le esperienze di Colson dirette a provare l'azione fotografica diretta dei raggi X. Egli pose due lastre Lumière una sopra l'altra, con le faccie sensibili a contatto, in modo però che si ricoprissero solo in parte; si aggiunga che da ciascuna lastra era stata prima tolta una striscia della pellicola sensibile. Al disopra del pacco venne posto un regolo metallico, e si espose ogni cosa all'azione di un tubo di Crookes eccitato da un piccolo rocchetto. Così i raggi X che cadevano sul vetro della prima lastra, attraversavano lo strato sensibile di questa, e proseguivano il loro cammino gli uni nel secondo strato sensibile e nel vetro, gli altri nell'aria e nella carta.

Lo sviluppo simultaneo delle due lastre mostrò i risultati seguenti:

a) I due strati sensibili in contatto sono impressionati con la medesima intensità; non v' ha che una leggera differenza sul secondo strato, di fronte alla parte denudata.

b) Non v' ha alcun rinforzamento della tinta sul primo strato, nella regione ch' era a contatto della gelatina o del vetro della seconda lastra; cosicchè nè la pellicola sensibile, nè il vetro di questa seconda lastra hanno

emesso raggi di fosforescenza o di fluorescenza, visibili o no, capaci di produrre un effetto fotografico.

c) La regione della seconda lastra, che ha ricevuto direttamente i raggi X, è più fortemente impressionata di quella che è stata colpita dai medesimi raggi attraverso la prima lastra, ma i bordi dell'ombra prodotta dal regolo metallico sono egualmente netti nelle due parti, e le due imagini sono esattamente l'una sul prolungamento dell'altra. Ciò sembra dimostrare che la prima lastra non abbia emesso dai punti della sua massa raggi di fosforescenza o fluorescenza, imperocchè questi avrebbero dovuto propagarsi lateralmente nel vetro, tra il regolo e la pellicola sensibile, e avrebbero prodotto un'impressione nell'interno dell'ombra.

Riassumendo, questa esperienza indica che nè i raggi che si propagano nell'interno della prima lastra, nè quelli che arrivano sulla seconda, producono radiazioni secondarie di fosforescenza o fluorescenza, capaci di agire sulle preparazioni fotografiche.

Ma si potrebbe pensare che i raggi emergenti dalla prima lastra non siano più dei raggi X, e che essi invece essendo assorbiti e trasformati, diano luogo a raggi luminescenti. Per eliminare ogni dubbio, Colson inviluppava due lastre con carta nera, e le poneva orizzontalmente una sopra l'altra, ad una certa distanza, con le pellicole sensibili di fronte, come nella prima esperienza. Sopra al centro della lastra superiore era collocato, alla distanza di 4 cm., con un diaframma di 1 cm. di apertura, il tubo di Crookes. Avendo posto sopra la prima lastra, dirimpetto al tubo, una moneta di argento, e tra le due lastre un tubo verticale e un portamonete, egli osservò, sviluppando la seconda lastra, le ombre e le penombre di questi oggetti, aventi esattamente il posto e le dimensioni previste dalla teoria della propagazione rettilinea. Se al contrario le impressioni fossero state prodotte da radiazioni secondarie, dovute ad una trasformazione di detti raggi, ed emesse dalla prima lastra, esse trasmettendosi in tutte le direzioni avrebbero dovuto fornire imagini ben differenti, e impressionare la seconda lastra nell'interno delle ombre suddette.

In conseguenza sono i raggi X che agiscono in tal caso sulla seconda lastra dopo avere attraversato la prima; e quindi può concludersi che nella prima esperienza sono i medesimi raggi, e non altri, che impressionano direttamente la pellicola sensibile.

I medesimi risultati ottenne il Colson con carta sensibile.

§ 60. **Trasmissione dei raggi X.** — Le azioni luminose, fotografiche, ed elettriche esercitate dai raggi X, costituiscono altrettanti metodi che possono essere impiegati nello studio della trasmissione di questi raggi attraverso i corpi. Il primo è molto semplice, ma dà soltanto risultati qualitativi: il secondo ed il terzo sono più appropriati; e quì ci limiteremo a parlare del secondo, ossia di quello fotografico, rimandando il terzo al capitolo seguente.

Il grado di trasparenza dei diversi corpi per i raggi X ha una grande importanza teorica e pratica. Battelli e Garbasso sin dalle prime studiarono, sotto questo punto di vista, molti corpi solidi e liquidi, dividendoli in parecchi gruppi. I corpi spettanti a uno stesso gruppo venivano tagliati in strati di spessore perfettamente uguale, ma di forma diversa, e poi erano posti in posizione simmetrica sul coperchio della scatola che chiudeva la lastra fotografica. Dopo aver impressionata e sviluppata la lastra, essi la disponevano come schermo in un fotometro che somigliava a quello di Foucault, a un fotometro cioè diviso da un setto opaco in due parti come due corridoi.

Davanti a ciascuna era collocata una lampada elettrica; una era a distanza fissa, mentre l'altra si poteva spostare nel fine di ottenere l'eguaglianza di chiarezza. Alle imboccature opposte a quelle delle lampade si trovavano due finestre rettangolari uguali, praticate in una tavoletta di legno, e coperte con un foglio di carta velina. Su ciascuna si appoggiavano due imagini negative: una

serviva come campione, e l'altra era quella che si voleva studiare. Tutte le imagini di un gruppo, che si trovavano nella medesima lastra, venivano confrontate con lo stesso campione, e quindi il rapporto dei quadrati delle distanze della lampada mobile dal rispettivo foglio di carta velina poteva ritenersi come la misura del rapporto dei gradi di trasparenza delle varie imagini, ossia dei gradi di opacità delle sostanze sperimentate. I corpi di un gruppo si potevano poi confrontare con quelli di un altro, perchè si aveva cura che un medesimo corpo facesse parte di ambedue; e i vari gruppi erano distribuiti in iscala a cominciare dai corpi più trasparenti per finire ai più opachi.

I liquidi venivano cimentati in vasetti di vetro dal fondo sottilissimo (0,5^{mm}) e sotto lo spessore di circa 3 cm. Il confronto tra i solidi ed i liquidi si stabiliva, paragonando l'imagine fornita da un vasetto che conteneva acqua, con quella di un altro vasetto contenente un pezzo di legno parimenti dello spessore di 3 cm.

La tavola che segue contiene i risultati delle misure, dove il grado di trasparenza è riferito a quello dell'acqua preso come uno: a fianco poi dei numeri indicanti la trasparenza relativa suddetta, si trovano i valori della densità delle varie sostanze, che vennero determinati direttamente.

La curva della fig. 105 è stata costrutta prendendo come ascisse le densità e come ordinate i valori del grado di trasparenza: essa indica chiaramente che la trasparenza aumenta quando la densità diminuisce, ma le variazioni della prima sono più rapide di quelle della seconda, ciò in modo conforme alle osservazioni del Röntgen.

Pertanto questa proprietà dei corpi di lasciarsi attraversare dai raggi X dipende sopratutto dalla loro densità, ma v'ha qualche eccezione; per esempio, il cristallo, lo spato fluore, il quarzo che sono molto opachi ai raggi X, non figurano nella tavola surriferita, della quale turberebbero l'ordine. Anche il potassio, il fosforo, lo zolfo sono molto opachi, eppure la loro densità non è grande.

SOLIDI.

Sostanze	Grado di trasp.	Densità	Sostanze	Grado di trasp.	Densità
Sughero	4.30	0.24	Colla da falegname	0.48	1.90
Legno d'abete	2.21	0.48	Solfo	0 47	1.90
Legno di noce	1.50	0.68	Avorio	0 46	1.92
Paraffina	1.12	0.90	Gesso	0.40	2.32
Gomma elastica	1.10	0.92	Alluminio	0.38	2.65
Cera	1.10	0.97	Steatite	0.35	2.70
Stearina	0.94	1.06	Vetro	0.34	2.70
Carbone di legno dolce	0.90	1.16	Carbonato di calce	0.33	2.72
Carbone di amianto	0.80	1.20	Antimonio	0.126	6.71
Ebanite	0.80	1.20	Stagnuola	0.118	7.16
Carbone ordinario	0 80	1.24	Zinco	0.116	7.21
Corno di bue	0.80	1 30	Stagno puro	0.112	7.30
Panno di lana bianco	0.76	1.30	Ferro	0.101	7.86
„ „ „ nero	0.76	1.30	Nickel	0.095	8.28
Celluloide	0.76	1.32	Ottone	0.093	8.40
Osso di balena	0.74	1.36	Cadmio	0.090	8 54
Panno di seta	0.74	1.40	Rame	0.084	8.90
„ „ cotone	0.70	1.48	Bismuto	0.075	9.82
Carbone di legno duro	0.63	1 50	Argento puro	0.070	10.53
Amido	0.63	1.52	Argento lega ($^{800}/_{1000}$)	0.063	11.08
Zucchero	0.60	1.59	Piombo	0.055	11.35
Osso bianco	0.56	1.65	Palladio	0.053	11.40
Magnesio	0.50	1.87	Mercurio	0.044	13.60
Carbone coke	0.48	1.80	Oro	0.030	19.32
„ di storta	0 48	1.90	Platino	0.0205	22.50

LIQUIDI.

Etere solforico	1.37	0.73	Acido cloridrico	0.86	1.16
Petrolio	1.28	0.80	Glicerina	0.76	1.26
Alcool etilico	1.22	0 81	Solfuro di carbonio	0 74	1.29
Alcool amilico	1.20	0.82	Acido nitrico	0.70	1.37
Olio d'oliva	1.12	0.83	Cloroformio	0 60	1.52
Benzina	1.00	0.99	Acido solforico	0.50	1.84
Acqua	1.00	1.00			

Inoltre molto dipende dalla specie de' tubi, poichè, come si è visto, i raggi X formano una radiazione complessa. Abbiamo a tale proposito riferite le esperienze del Ròiti che dimostrano l'esistenza di raggi X diversamente penetranti, a seconda della rarefazione del tubo che li produce, della differenza di potenziale, e sovratutto a seconda dei corpi per cui sono passati, e della sostanza che è sede della loro emanazione. La stessa cosa hanno trovato Hurmuzescu e Benoist con il metodo elettrico, che riferiremo

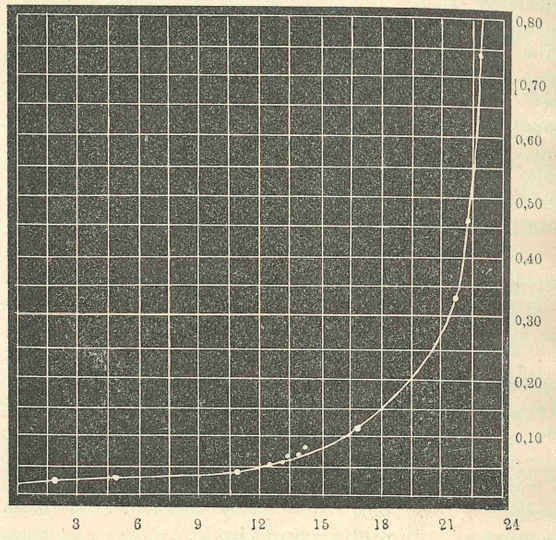


Fig. 105.

in seguito; cosicchè è d'uopo conchiudere che tavole simili, sebbene atte a dare l'andamento medio del fenomeno, non possono avere un valore assoluto.

Studiando la trasparenza de'metalli alcalini pei raggi X, il prof. C. Marangoni ha trovato che il sodio è molto più trasparente del potassio ai raggi X, sebbene quello sia più denso di questo. E osservando che il peso atomico del sodio è invece quasi la metà di quello del potassio, ei pensa che la trasparenza pei raggi X debba avere una più intima relazione coi pesi atomici, che non colle densità.

Avendo tagliato dei dischi di detti metalli che avevano grossezze in ragione inversa dei loro pesi atomici trovò che il sodio, benchè più grosso, era sempre più trasparente; e bisogna raddoppiare lo spessore del sodio per avere un'ombra eguale a quella del potassio. La legge deve quindi essere complicata: anzi, dopo la scoperta della criptocrosi, si prevede che non vi sarà una legge unica, ma che varierà a seconda del tubo che si adopera.

Tuttavia se una relazione v' è col peso atomico, siamo in grado di prevedere che il corpo più trasparente ai raggi X, dopo l' idrogeno, deve essere il litio, che ha il peso atomico uguale a 7. Fatta la prova, il Marangoni trovò difatti che il litio ha una trasparenza straordinaria, e che l'ombra non sembra aumentare di intensità crescendo la grossezza dello strato fino a 15 mm.

Chabaud ha confermato la grande opacità del platino pei raggi X; sotto lo spessore di $0^{mm},2$ esso li arresta completamente; poi viene il piombo, che è molto opaco, mentre l'alluminio è trasparentissimo: gli altri metalli hanno una trasparenza apprezzabile. Ma in ogni caso lo spessore ha una grande influenza, poichè lo stesso platino, sotto lo spessore $\frac{1}{100}$ di mm., è facilmente attraversabile. Il mercurio è opaco come il platino, giacchè sotto lo spessore di $0,^{mm}1$ arresta completamente i detti raggi.

Si deve allo stesso autore uno studio sulla trasparenza di diverse qualità di vetro: egli esperimentò le sei specie, aventi una fluorescenza ed una composizione indicate qui sotto:

Fluorescenza	(verde d' acqua)	*A* Vetro a base di soda, di potassa e di calce.
Id.	(bleu)	*B* Cristallo.
Id.	(verde d' acqua chiaro)	*C* Vetro ternario a base di soda, di potassa e di calce.
Id.	(verde giallo)	*D* Vetro tedesco.
		E Vetro d'uranio di color chiaro.
		F Vetro d'uranio di color cupo.

Ora i tre vetri *A, C, D* presentano una grande permeabilità ai raggi di Röntgen; al contrario il cristallo è opaco, e i vetri di uranio si lasciano attraversare più difficilmente dei tre vetri *A, C* e *D*. In conclusione i vetri di cui la fluorescenza è gialla o verde sono molto trasparenti, mentre il cristallo a base di piombo, di cui la luminescenza è bleu, è dotato di grande opacità: ciò indica la scelta dei vetri più adatti per la costruzione dei tubi destinati alla produzione de'raggi X.

L'opacità del cristallo si spiega facilmente con la presenza del piombo, e si intende anche come tubi di cristallo non diano il passaggio ai raggi di Röntgen.

Il carbone, sotto i suoi diversi stati, è dotato di una grandissima trasparenza, in confronto di quella degli altri metalloidi.

Il diamante, la grafite, l'antracite, il carbone ordinario danno imagini fotografiche deboli, simili a quelle del legno o della paraffina sotto un eguale spessore; mentre al contrario il selenio, il fosforo, lo iodio offrono imagini forti, che relativamente indicano una grande opacità.

Parimenti le materie organiche, etere, acidi, corpi azotati sono molto trasparenti per i raggi X, e quindi danno imagini fotografiche appena visibili; basta però l'aggiunta d'un metallo o d'un metalloide in una molecola organica per conferire alla sostanza una grande opacità.

Questi risultati sono stati confermati da numerosissime esperienze: essi ci spiegano in qual modo avvenga che le carni, i muscoli, il grasso, siano attraversati dai raggi X, mentre le ossa lo sono molto meno. La sola differenza di densità non darebbe ragione della differenza di trasparenza di queste sostanze: è invece a ritenersi che la opacità delle ossa provenga dagli elementi minerali che esse rinchiudono.

Le differenze nella costituzione chimica delle diverse materie che formano i nervi, il sangue, permetteranno forse, dopo queste osservazioni, d'ottenere le imagini fotografiche, in grazia della loro ineguale trasparenza.

I mezzi dell'occhio sì trasparenti ai raggi dello spettro visibile fanno eccezione, perocchè essi, come lo hanno provato Salvioni, Derochas e Dariex, presentano ai raggi X diverse opacità ma assai forti: secondo il Salvioni la cornea è la parte più trasparente, il cristallino la più opaca. E vogliamo quì ricordare che l'occhio non vede i raggi che sono nell'ultravioletto, vicini alla regione luminosa, perchè il cristallino è opaco per essi: onde accade che chi ha subìto l'operazione della cateratta, ossia l'asportazione del cristallino, vede più in là nel violetto di un occhio normale.

Dalle esperienze che abbiam detto, si deduce subito un metodo sicuro e pronto per distinguere il diamante vero, carbonio puro cristallizzato, dalle sue imitazioni, che

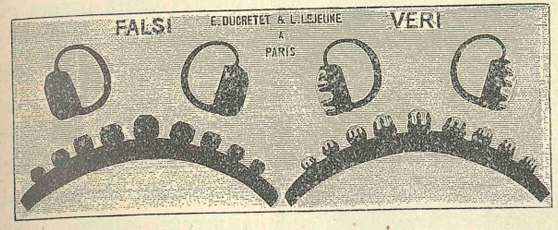


Fig. 106.

consistono in generale in cristalli a base di piombo. Il primo è assai trasparente pei raggi X, le seconde sono opache. La fig. 106 mostra una prova radiografica di diamanti veri e di diamanti falsi. Anche senza la fotografia, basta proiettarne sopra uno schermo fluorescente le ombre radiografiche; i diamanti veri, trasparentissimi, proiettano un'ombra assai leggera, mentre i falsi sono opachi e danno delle ombre nere, che non si distinguono punto da quella della montatura metallica.

I prof. Vicentini e Pacher, studiarono anch'essi la trasparenza di molti corpi solidi e liquidi. Per cimentare i liquidi essi prepararono una serie di scatole di carta paraffinata trasparentissime, che riempivano con uno strato liquido dello spessore di 5 mm. Risultarono molto trasparenti la benzina, l'etere, l'etere con bitume in soluzione;

trasparenti in grado minore, l'olio di vaselina, l'olio d'oliva, il petrolio; semiopachi l'acqua distillata e l'alcool.

Essi studiarono ancora varie specie di legni, larice, quercia, pomo, frassino, noce, ciliegio, pero, abete, ridotti in tavolette dello spessore di circa 5 mm.; e scelsero per ciascuna specie due tavolette l'una tagliata parallelamente alle fibre, l'altra normalmente. Quelle normali alle fibre si mostrarono più opache delle altre: l'opacità dei legni sopra indicati decresce nello stesso ordine col quale sono riferiti. Nella fig. 107 le ombre delle tavolette tagliate normalmente alle fibre sono quelle della prima colonna verticale; nell'altra si trovano le ombre di quelle tagliate parallelamente. Scendendo dall'alto verso il basso, i vari legni si succedono in questo ordine: larice, quercia, ciliegio, pero, pomo, abete, frassino, noce, L'abete è il più trasparente, e vi si vedono riprodotte le fibre di diverso colore.

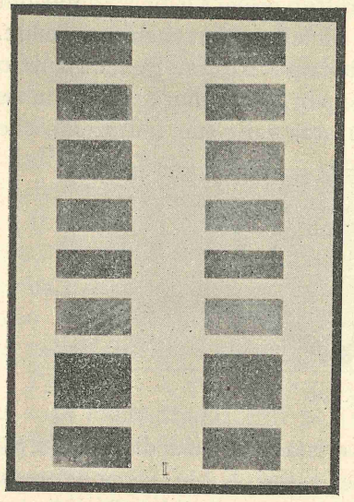


Fig. 107.

Anche le stoffe come la lana, la seta, il lino, il cotone, la canape, sono molto trasparenti.

Bleunard e Lablesse valendosi della proprietà che l'opacità delle soluzioni saline aumenta con il peso atomico del metallo e del metalloide, prepararono inchiostri, con bromuro di potassio, che permettevano di riprodurre in modo leggibile una lettera chiusa in una busta.

Termineremo questo argomento con alcuni raffronti sulla diatermaneità e la trasparenza dei corpi pei raggi X: risulta dalle esperienze di Meslans, confermate da quelle di V. Novak e O. Sulc, che la presenza degli alogeni

(cloro, bromo, fluoro e iodio), e dello solfo nella molecola, ne aumenta la opacità pei raggi X.

Il fluoruro di phtalyle, per esempio, è molto più opaco pei detti raggi dell'acido phtalyco, sebbene questi due corpi abbiano un peso molecolare molto vicino. D'altra parte Teclu ha mostrato che il tetracloruro di carbonio è molto diatermano, e le esperienze di Zsigmondy e di Friedel con parecchi tetracloruri, con l'etilene biclorato, con il cloroformio e il cloralio, hanno stabilito che la introduzione del cloro nella molecola aumenta considerevolmente la diatermaneità. Di più il bromo, la dissoluzione di iodio nel solfuro di carbonio, il salgemma, la silvina, ecc., sono anch'essi corpi diatermani, e invece opachi pei raggi X.

Lo zolfo è opaco alle radiazioni di Röntgen, e l'introduzione di tale elemento in una molecola, come per esempio il solfuro di carbonio, comunica a questa una grande opacità per i raggi X; mentre, al contrario, il detto solfuro è uno dei liquidi più diatermani.

Questo parallelo parrebbe provare che la presenza degli alogeni e dello zolfo nella molecola, mentre ne aumenta la trasparenza pel calore, ne diminuisce invece quella pei raggi X.

Ed anche i corpi che contengono solamente gli elementi carbonio, idrogeno e ossigeno lasciano facilmente passare i raggi di Röntgen, come lo attestano tutte le ricerche finora fatte, mentre essi assorbono i raggi di calore, come risulta dalle esperienze di Friedel. Per potere però estendere ad altri composti questa antitesi fra la diatermaneità e la trasparenza pei raggi X occorrono, com'è chiaro, altre esperienze.

I vapori sono trasparenti pei detti raggi: Philipps ha mostrato che la fiamma del becco di Bunsen è assolutamente trasparente alle radiazioni del tubo di Crookes. Il cloruro di tallio in polvere è assai opaco; il suo vapore, ottenuto introducendo il sale con un cucchiaino di platino nella fiamma suddetta, colora questa intensamente in verde, ma non proietta alcuna ombra su di una lastra fotografica

quando è attraversato dai raggi X: i vapori del cloruro di tallio sono dunque perfettamente trasparenti per questi raggi. Con il vapore di iodio e con quello di bromuro di potassio, Ed. van Aubel, al quale sono dovute queste esperienze, ottenne identici risultati.

BIBLIOGRAFIA.

Albert Londe, *Application de la méthode de M. Röntgen* (*Comp. Rendus*, t. CXXII; séance 10 février 1896).

Auguste et Louis Lumière, *Recherches photographiques sur les rayons de Röntgen* (*Comp. Rendus*, t. CXXII; séance 17 février 1896).

Alessandro Sandrucci, *Sulla azione fotografica dei raggi Röntgen e la diffusione prodotta dai corpi cui passano attraverso* (*Il Nuovo Cimento*, serie 4.ª t. III; giugno 1896).

R. Colson, *Mode d'action des rayons X sur la plaque photographique* (*Comp. Rendus*, t. CXXII, p. 922).

Battelli e Garbasso, *Sopra un modo per ridurre il tempo di posa delle fotografie eseguite coi raggi di Röntgen* (*Il Nuovo Cimento*, serie 4.ª, vol. III; fascicolo di marzo 1896).

Marangoni, *Ricerca delle larve minatrici nelle piante per mezzo dei raggi X di Röntgen* (*Atti della R. Acc. dei Georgofili*, anno 1896, vol. XIX, dispensa 2.ª).

— *Sul potere penetrante dei raggi X nei metalli alcalini* (*R. Acc. de' Lincei*, vol. V, 2.° sem., serie 5.ª; 6 dicembre 1896).

Chabaud, *Transparence des métaux pour les rayons X*, *Compt. Rend.*, t. CXXII, p. 237.

Salvioni, *Atti dell'Acc. Med. Chirurg. di Perugia*, v. III, fasc. 1.° e 2.°, 1895.

Dariex et de Rochas, *Sur la cause de l'invisibilité des rayons de Röntgen*, *Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 458.

Vicentini e Pacher, *Esperienze coi raggi di Röntgen* (*Memorie del R. Ist. Ven. di scienze, lettere ed arti*, vol. XXV, n. 7).

V. Novak et O. Sulc, *Zeitschrift für physikalische chemie*, t. XIX, p. 489; 1896.

Teclu, *Journal für praktische chemie*, 2.ª serie, t. XLVII, p. 568; 1893.

Zsigmondy, *Annalen der Physik*, t. XLIX, p. 531; 1893.

Friedel, *Annalen der Physik*, t. LV, p. 453; 1895.

Philipps, *Eclairage electrique*, 29 février 1896, p. 422.

Edm. van Aubel, *Sur la trasparence des corps aux rayons X*, *Journal de Physique*, serie 3.ª, t.V, p. 511.

Winkelmann und Straubel, *Ueber einige Eigenschaften der Röntgen'schen X-Strahlen (Abdruk aus der Jenaischen Zeitschrift für Naturwissenschaft*, XXX Bd., N. F. XXIII).

M. Meslans, *Influence de la nature chimique des corps sur leur transparence aux rayons X* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 509).

CAPITOLO VI.

AZIONI ELETTRICHE.

§ 61. **Breve storia dell' argomento.** — Poco dopo la scoperta del prof. Röntgen, molti fisici hanno constatato, quasi contemporaneamente, che i raggi X posseggono come i raggi ultravioletti la proprietà di scaricare i corpi elettrizzati: essi hanno pubblicato il risultato delle loro esperienze a brevi giorni di intervallo gli uni dagli altri, la qual cosa prova che eseguirono le esperienze indipendentemente. Il lettore potrà convincersi di questa verità, notando le date riferite nella bibliografia di questo capitolo. Era del resto naturale che si pensasse subito alla possibilità di tal fenomeno, dal momento che i raggi X hanno la proprietà di eccitare la fluorescenza e quella di produrre azioni fotografiche come i raggi più rifrangibili delle ordinarie radiazioni, i quali posseggono pure in grado eminente la facoltà di scaricare i corpi elettrizzati negativamente.

Il fatto fondamentale messo in chiaro dai detti fisici, e da alcuni altri che ne proseguirono lo studio sperimentale, è questo, che l' elettricità posseduta da un corpo si disperde più o meno rapidamente sotto l' azione dei raggi X, sia poi questa elettricità negativa o positiva. Su questo punto di capitale importanza tutti sono perfettamente d'accordo, ma l' accordo cessa nei particolari. E poichè su tale argomento numerosissimi sono gli esperimenti, noi dovremo limitarci a riassumere ordinatamente

quelli soltanto che ci sembrano i più importanti, tenendoci paghi per gli altri di un semplice cenno. E non ci sarà sempre possibile di attribuirne il merito ad uno meglio che ad un altro, perocchè molte osservazioni vennero fatte da parecchi nel medesimo tempo.

§ 62. **Esperimenti di Benoist e Hurmuzescu.** — Questi due fisici fecero le loro prime prove con un elettroscopio a foglie d'oro, costrutto da Chabaud dietro le indicazioni di Hurmuzescu, e disposto specialmente per lo studio dei raggi X. Questo apparecchio rappresentato dalla fig. 108, si compone di una cassa metallica rettan-

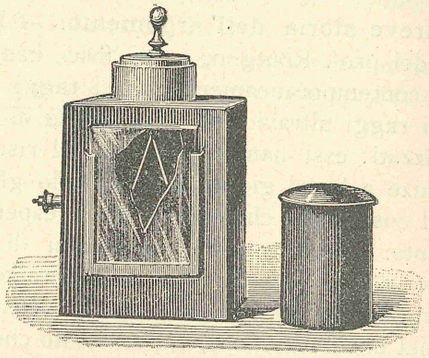


Fig. 108.

golare che ha su due pareti opposte due aperture circolari, le quali possono esser chiuse con lastre di vetro: tali lastre sono incolori per le ordinarie esperienze, e di color giallo quando si tratta di proiettare la divergenza delle foglie su di uno schermo. In tal caso il vetro giallo serve a impedire la dispersione che produrrebbero i raggi violetti della sorgente di luce dell'apparecchio di proiezione, come lo ha dimostrato Branly; la terza parete della cassa metallica è quasi interamente aperta, ed è fornita di guide che possono ricevere lastre di natura e di spessore qualunque; il che permette di studiare la scarica delle foglie d'oro prodotta dai raggi X, attraverso a

lamine di sostanze diverse, e in conseguenza di misurarne la permeabilità. In questo elettroscopio il sistema conduttore è isolato col mezzo di un tappo di *dielettrina,* ed è coperto dal tubo di guardia che si vede nella figura a destra: l'isolamento è così perfetto che la carica data alle foglie può conservarsi per parecchi mesi. E poichè le lastre di vetro colorate che chiudono la cassa metallica sono conduttrici, si può considerare che il sistema conduttore isolato si trovi nell'interno di un cilindro di Faraday, messo in comunicazione colla terra; il che presenta il vantaggio di mettere il conduttore isolato al coperto da ogni azione elettrostatica esterna.

I raggi X agendo sulle foglie d'oro, scaricano presto e completamente l'elettroscopio, tanto se la carica è negativa, quanto se è positiva; questa azione si produce anche attraverso a lastre metalliche costituenti schermi perfetti per la luce e per le influenze elettrostatiche: essa però varia molto di grado a seconda della natura e dello spessore dei corpi interposti. Con parecchi fogli di carta nera sovrapposti, o con una lastra d'alluminio di $^1/_{10}$ di millimetro, quando si eccita il tubo di Crookes, la caduta delle foglie d'oro, alle quali si comunica una carica capace di produrre la divergenza di 40° circa, è immediata e completa. Con lastre di alluminio di un millimetro di spessore ed anche più, e col tubo di Crookes a 30 cent. di distanza, la caduta completa delle foglie d'oro esige pochi secondi. I corpi che, dopo quelli detti, si lasciano attraversare facilmente, sono: l'argento, il celluloide, l'ebanite, lo stagno, ecc.; mentre, al contrario, l'ottone, lo zinco, ecc. sotto lo spessore di 3 mm. arrestano completamente i detti raggi.

Con questo metodo si ha pertanto un ottimo mezzo di studiare i nuovi raggi: esso è esatto e spedito, e presenta su quello fotografico il vantaggio di eliminare ogni interpretazione arbitraria: potrà adottarsi speditamente nell'esame dei tubi produttori dei raggi X, e per la determinazione del tempo necessario ad ottenere buone radiografie.

Basterà a tal uopo porre il tubo ad una distanza conveniente dalla parete d'alluminio dell'elettroscopio, e notare il tempo che mettono a scaricarsi le foglie d'oro caricate a un potenziale conosciuto; con un buon tubo focus, distante 50 centimetri dalla parete suddetta, l'elettroscopio deve scaricarsi in 4 o 5 secondi. Però non si viene così a misurare che l'intensità dell'effetto elettrico dei raggi X, e si potrebbe dubitare che l'intensità della fluorescenza o dell'effetto fotografico non siano proporzionali; ma il prof. Donati con un ingegnoso artifizio sperimentale, che descriveremo in seguito, ha potuto dimostrare che quando

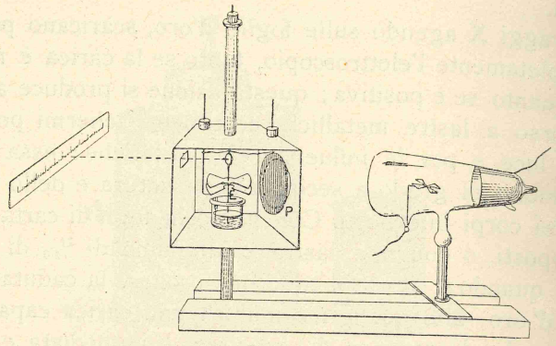


Fig. 109.

l'effetto elettrico, misurato dalla dispersione prodotta, è uguale in due dati casi, è pure uguale l'opacità delle due negative fotografiche ottenute colle medesime radiazioni.

Per le ricerche quantitative, Benoist e Hurmuzescu sostituirono all'elettroscopio a foglie d'oro l'elettrometro a due aghi rappresentato dalla figura 109: gli aghi sono rinchiusi in una cassa di ottone perfettamente opaca alle radiazioni di Röntgen.

Dalla parte del tubo la cassa ha una finestra circolare chiusa da un foglio d'alluminio; sulla faccia opposta a questa v'ha un'altra piccola finestra munita di un vetro. L'elettrometro si trova quindi in un casotto di Faraday, che

impedisce ogni accesso all'aria elettrizzata ed ogni influenza elettrostatica esterna. Con questo istrumento possono farsi tre specie di esperienze diverse, vale a dire: 1.° Si può studiare se la natura del metallo che riceve la radiazione ha influenza sulla rapidità della scarica. A tal uopo basterà collocare dietro la lamina d'alluminio, che chiude la finestra rivolta al tubo, delle spesse lastre *P* di metalli diversi, e riunirle all'ago fisso e grande dell'elettrometro, mentre l'altro ago che porta lo specchietto è posto in comunicazione con la terra, insieme alla cassa dell'istrumento. La lastra soggetta a prova era caricata in principio di ciascuna esperienza al potenziale di 60 volta circa, e la dielettrina che isola i corpi elettrizzati, era accuratamente protetta da ogni azione dovuta al tubo di Crookes. 2.° Si può studiare la trasparenza dei corpi ponendone davanti alla finestra lastre più o meno spesse. 3.° Finalmente si può studiare l'influenza del mezzo ambiente.

La rapidità della scarica dipende dal corpo che riceve le radiazioni: Benoist e Hurmuzescu hanno provato che i tempi della caduta del potenziale da un valore ad un altro varia colla natura del metallo esposto: anche con la dispersione operata dai raggi ultravioletti si nota la medesima influenza della natura del ricevitore, ma l'ordine dei differenti metalli non è lo stesso nei due casi. Secondo Lenard e Wolf, i quali spiegano i fenomeni con una polverizzazione del metallo (§ 19), l'argento è il più sensibile alla scarica operata dai raggi ultravioletti; poi vengono l'oro, il ferro, il piombo, lo stagno, il rame, il platino, il mercurio, lo zinco. Ora l'argento e lo zinco che sono agli estremi di questa serie, si trovano, al contrario, estremamente vicini in quella che i due fisici hanno ottenuto con i raggi X: agli estremi sono, da una parte l'alluminio col quale la dispersione è lentissima, e dall'altra il platino e il mercurio con i quali è rapidissima.

Nello specchietto che segue, sono indicate le durate di una stessa caduta del potenziale per diversi corpi, assumendo come uno quella del platino:

Zinco e ottone amalgamato	0,96
Platino in lastre sottili	1
„ in fogli battuti	1,1
Ferro e nichel	1,38
Zinco e argento in fogli battuti	1,41
Rame rosso	1,48
Argento in lastre	1,53
Alluminio battuto	1,98
„ in lastre	2,12
Nero di fumo	1,97

Questi numeri, vista l'eterogeneità dei raggi X, non hanno, a tutto rigore, valore che pel tubo impiegato: da essi tuttavia si deduce che i metalli dissipano l'elettricità in senso inverso alla loro trasparenza pei raggi X, giacchè l'alluminio è precisamente il più trasparente, e il platino e il mercurio al contrario i più opachi. Da ciò Benoist e Hurmuzescu arguirono che l'attitudine suddetta a dissipare le cariche dipende da una specie di potere assorbente, comparabile a quello che hanno i corpi per le radiazioni luminose e calorifiche; e pensarono che tale assorbimento sia esercitato dallo strato superficiale del metallo stesso, giacchè aumenta collo spessore fino a un certo limite, per lastre assai sottili.

Benoist e Humurzescu hanno di più trovato che, se si ha cura di rinchiudere tutto l'apparecchio e di sottrarre gli isolanti alle azioni esterne, la scarica dell'elettrometro è completa, qualunque sia il segno della carica iniziale. Aggiungeremo inoltre avere essi verificato che la intensità dei raggi X, che si propagano nell'aria, varia con molta approssimazione in ragione inversa del quadrato della distanza, contando questa distanza dalla parete anticatodica del tubo fino alle foglie d'oro dell'elettroscopio, o al conduttore isolato P dell'elettrometro; il che prova la trasparenza dell'aria pe' detti raggi. Hanno pure rilevato l'eterogeneità dei raggi X misurando per lastre sottili il coefficente di trasmissione dell'alluminio, che riferivano allo spessore di

mm. 0,1: essi trovarono numeri sempre inferiori a 0,9, e generalmente vicini a 0,85. Un tal valore sarebbe incompatibile colla trasparenza osservata dal Röntgen per una lastra d'alluminio di 15 mm. di spessore, qualora tale coefficente dovesse esser lo stesso con qualunque tubo di Crookes impiegato, e ove esso non aumentasse collo spessore attraversato: così è che i raggi X devono subire da parte dell'alluminio un assorbimento selettivo, il che prova la loro eterogeneità. Difatti, se il valore 0,85 di detto coefficente rimanesse costante, la trasparenza totale di una lamina di 15 mm. sarebbe nulla praticamente; ma i due fisici, impiegando spessori crescenti nel determinare i valori del detto coefficente di trasmissione, hanno trovato che esso va crescendo gradatamente collo spessore attraversato, dal valore 0,85 per lastre inferiori a 6 decimi di mm. sino a 0,90 per lastre che passano un millimetro. Avendo finalmente impiegato tubi di Crookes differenti, eccitati allo stesso modo dalla bobina, essi hanno trovato coefficenti di trasmissione diversi, benchè le lastre impiegate fossero le stesse: con un tubo il detto coefficente fu 0,85, con un altro 0,78. Riassumendo, queste esperienze, d'accordo con quelle del Ròiti, provano che la produzione dei raggi X con tubi di Crookes è un fenomeno analogo a quello della produzione dei raggi calorifici e luminosi col mezzo di sorgenti a temperature più o meno elevate.

§ 63. **Esperienze di J. J. Thomson.** — Come Benoist e Hurmuzescu, anche J. J. Thomson ha trovato che l'elettroscopio si scarica ugualmente qualunque sia il segno della carica. La disposizione da lui impiegata per studiare tali effetti è la seguente: la bobina di Ruhmkorff e il tubo di Crookes che serve a produrre i raggi, sono chiusi in una grande cassa metallica; si protegge così l'elettrometro da ogni perturbazione elettrostatica. Il tubo è collocato in modo che la sua regione anticatodica sia poco distante dalla parete superiore della cassa: un foro praticato nel coperchio di fronte al tubo, e ricoperto con una foglia di alluminio, dà l'uscita ai raggi. La lastra elettrizzata, al-

quanto maggiore del foro, è posta fuori della cassa, a breve distanza, dinanzi alla finestra chiusa con alluminio. Essa è diligentemente isolata, e viene messa in comunicazione permanente con un paio di quadranti dell'elettrometro, in modo da non esservi perdita sensibile quando il tubo non è eccitato. Riunendo dapprima insieme le due paia di quadranti, si dà loro una carica con una grande batteria di piccoli accumulatori, così che assumano lo stesso potenziale: separandoli poi, se si dirige i raggi Röntgen sulla lastra metallica, si produce una dispersione rapida dell'elettricità; il potenziale del paio di quadranti riunito alla lastra varia, e in pochi secondi l'imagine luminosa riflessa dallo specchio dell'elettrometro va fuori della scala.

Tale dissipazione d'elettricità si produce qualunque sia il segno della carica; e se la lastra non viene prima caricata, non si manifesta alcuna elettrizzazione esponendola a tali raggi. Il metodo è tanto più sensibile quanto maggiore è il potenziale comunicato dapprincipio alla lastra: l'autore afferma di aver osservato un effetto ancora sensibile di tali raggi, dopo che essi erano passati attraverso ad una lastra di zinco di 0,25 pollici di spessore.

Per determinare in qual modo l'emissione dei raggi di Röntgen dipenda dal grado di vuoto del tubo, basterà, come è evidente, mantenere il tubo unito ad una pompa, ed osservare la perdita a differenti gradi di rarefazione. Sperimentando così, J. J. Thomson non ha potuto constatare alcuna apparente dissipazione della carica, finchè non fossero apparse le prime luci fosforescenti sul vetro; ed anche dopo l'apparizione di tali luci la dispersione si fa lentamente, finchè resta nel tubo la luminosità positiva: è soltanto quando questa scompare che la dispersione diventa rapida (§ 54).

L'autore inoltre non ha potuto osservare alcun limite inferiore del valore del potenziale, al disotto del quale cessi la suddetta dispersione. Questa poi differisce da quella prodotta dalla luce ultravioletta per più caratteri: la luce ultravioletta difatti non scarica che i corpi elettrizzati

negativamente, mentre i raggi di Röntgen agiscono egualmente sui due stati elettrici: inoltre l'effetto della luce ultravioletta non è considerevole che coi metalli elettropositivi e aventi una superficie ben pulita; al contrario l'effetto dei raggi X è cospicuo qualunque sia il metallo, e sia quando esso è immerso nell'aria, sia quando è circondato da coibenti solidi o liquidi. A provare questa cosa, J. J. Thomson ricopriva la lastra metallica di paraffina solida, di zolfo solido; la cacciava nell'interno di una massa d'ebanite, la serrava tra due lamine di mica, e l'immergeva anche in un bagno d'olio di paraffina; in tutti questi casi, benchè l'isolamento fosse perfetto, la carica della lastra metallica, il cui potenziale era di 10 o 15 volta, si dissipava, se i raggi di Röntgen attraversavano l'isolante.

Secondo J. J. Thomson, tutti i dielettrici diventano conduttori, quando trasmettono i raggi X. Il passaggio di tali raggi attraverso ad un corpo pare accompagnato da una dissociazione delle molecole, la quale permette all'elettricità di muoversi con un meccanismo analogo a quello del passaggio di una corrente attraverso a un elettrolito. Immergendo in un pezzo di paraffina solida due paia di elettrodi secondo i quattro angoli di un quadrato, Thomson caricava successivamente ciascuna coppia a potenziali differenti: qualunque fosse la direzione de' raggi rispetto agli elettrodi, l'effetto dispersivo rimaneva sensibilmente lo stesso. Avendo di poi determinato che la dissipazione della carica in un gas è proporzionale alla radice quadrata della densità, Thomson vede in questo fatto una conferma che la dispersione in discorso è dovuta alla separazione dei ioni delle molecole operata dai raggi, poichè il numero dei ioni è precisamente proporzionale alla radice quadrata delle densità. Risulta che la dispersione è più rapida nell'anidride carbonica che nell'aria; è lenta nell'idrogeno, rapidissima invece negli alogeni.

Il Righi, come vedremo, è pervenuto a risultati conformi a questi; anche Benoist ed Hurmuzescu hanno trovato la legge della radice quadrata della densità; cosic-

chè dunque la velocità di dispersione delle cariche elettriche dipende dalla densità del mezzo ambiente.

Stando all'opinione di Benoist e Hurmuzescu, la dispersione delle cariche si farebbe però per semplice convessione, senza dissociazione in ioni. La proprietà che, giusta l'ipotesi di J. J. Thomson, possederebbero i dielettrici di divenir conduttori sotto l'azione dei raggi X, non sembra sufficiente ai due fisici francesi a spiegare tutte le circostanze del fenomeno; giacchè vi influisce anche la natura del metallo. Inoltre essi osservano che il rapporto dei tempi di scarica trovato per due superficie metalliche diverse, non si altera ricoprendo le dette superficie con uno strato di paraffina dello stesso spessore.

§ 64. **Esperimenti del Righi.** — Dalle esperienze ora ricordate di Benoist e Hurmuzescu e di J. J. Thomson, si deduce che i raggi X non esercitano azione alcuna sopra un corpo allo stato naturale, e di più essi operano la scarica completa di un corpo elettrizzato.

Secondo il Righi invece, un piccolo effetto è prodotto dai raggi X anche sopra di un corpo allo stato naturale, il quale assume un potenziale finale positivo: fenomeno questo del tutto simile a quello prodotto dai raggi ultravioletti, come ha dimostrato lo stesso autore. Per mettere in evidenza la cosa, egli ha presso a poco sperimentato come aveva fatto con i raggi ultravioletti, cioè:

1.° Ha comunicato la carica ad un conduttore, e poi ha esaminato se il suo potenziale, indicato da un elettrometro a quadranti comunicante con esso, subiva, allorchè i raggi X lo colpivano, una diminuzione più rapida di quella dovuta alla ordinaria dispersione delle cariche elettriche.

2.° Ha fatto cadere i raggi X sopra una coppia fotoelettrica formata da un disco metallico, davanti al quale è posta una reticella metallica comunicante con il suolo, ed ha osservato se si produceva alcuna deviazione nell'elettrometro messo in comunicazione col disco.

3.° Ha poi esaminato se gli stessi raggi, cadendo sopra un corpo scarico, sono atti a produrre cariche elettriche.

Per evitare ogni possibile influenza sull'elettrometro, o sui corpi riuniti ad esso, dovuta agli apparecchi generatori dei raggi X, egli ha collocato nell'interno di una grande cassa metallica comunicante con il suolo il tubo di Crookes insieme con gli apparecchi necessari per eccitarlo, cioè rocchetto d'induzione, interruttore a mercurio ed accumulatori.

Una delle pareti della cassa era per buona parte costituita da una lastra di piombo, spessa circa $^1/_2$ cm., avente nel mezzo una finestra circolare di 10 cm. di diametro: questa finestra era chiusa con una lamina sottile di alluminio, e di fronte ad essa si trovava nell'interno della cassa, ed a piccola distanza dalla parete, la regione anticatodica del tubo di Crookes. La finestra poi poteva essere chiusa a volontà con lastre di piombo per fare che i raggi X o non potessero punto propagarsi al di fuori, o agissero in certi luoghi e non in altri: in tutti i casi nessuna forza elettrica proveniente dalle cariche interne alla cassa, poteva manifestarsi all'esterno, quando gli apparecchi erano in azione.

Questa disposizione sperimentale adottata dal Righi rassomiglia, come si vede, a quella di J. J. Thomson, senza che uno sapesse delle esperienze dell'altro.

L'autore ha potuto così constatare l'azione dei raggi X, ponendo di fronte alla finestra chiusa con alluminio conduttori elettrizzati; ed ha trovato che i raggi X, a differenza di quelli ultravioletti, scaricano tanto i corpi elettrizzati in più che in meno, e che essi danno, in ogni caso, origine ad una debole carica positiva finale. Cosicchè in un corpo carico inizialmente di elettricità positiva, la dispersione cessa quando resta al corpo quella carica che i raggi X gli avrebbero conferito, se inizialmente si fosse trovato allo stato naturale; mentre in un corpo elettrizzato negativamente la dispersione continua, fino a che il corpo sia completamente scarico, e poi l'azione prosegue finchè il corpo assuma una carica positiva finale, che è quella stessa che avrebbe preso partendo dallo stato naturale.

Il potenziale positivo al quale è portato un conduttore isolato, quando i raggi di Röntgen lo colpiscono, è dell'ordine di grandezza delle forze elettromotrici di contatto; il Righi attribuisce principalmente alla poca sensibilità degli elettrometri adoperati da Benoist ed Hurmuzescu, se essi non giunsero a verificare questo fatto. Inoltre nelle esperienze dei due fisici francesi il disco isolato che riceve i raggi X si trova molto vicino alle pareti metalliche della cassa dell'istrumento (fig. 109); con ciò la sua capacità aumenta, e questa è una circostanza sfavorevole alla condizione del fenomeno. È per tale ragione che nelle sue esperienze il Righi teneva il conduttore soggetto all'azione dei raggi X, ben lontano da ogni altro corpo comunicante con il suolo.

La disposizione in verità è meno comoda, ma più acconcia alla osservazione del debole potenziale finale.

L'azione elettrica dei raggi X diminuisce, com'è naturale, allontanando il conduttore; il fenomeno però si può osservare ancora alla distanza di 2 m. e più dalla finestra di alluminio. Diminuisce pure, interponendo tra la finestra e il conduttore corpi diversi, come una grossa tavola d'abete, una lastra di alluminio, una mano, ecc., poichè i corpi interposti assorbono i detti raggi in misura diversa.

Per mostrare a più persone questo fenomeno della dispersione elettrica provocata dai raggi X, si può sopprimere la cassa metallica e interporre soltanto tra il tubo di Crookes e il conduttore, un'ampia lastra di piombo con un foro chiuso da una foglia di alluminio: si pone un disco conduttore elettrizzato, comunicante con un elettroscopio a foglie d'oro, ad una ventina di cm. dalla finestra di alluminio; se l'isolamento è buono, le foglie cadono con molta lentezza quando il tubo di Crookes non è eccitato, ma esse si chiudono rapidamente appena si ecciti il tubo. Se si chiude la finestra con una spessa lastra di piombo, si intercetta ogni via alla propagazione dei raggi X e le foglie restano a lungo divergenti; collocandovi invece una tavola di legno, un libro, una mano, la discesa delle foglie è solamente rallentata.

Un altro modo molto elegante di mostrare lo stesso fenomeno, è quello di ricevere i raggi X su una grande lastra metallica isolata, messa in comunicazione con un elettrodo di un tubo di Geissler, mentre l'altro elettrodo di questo è unito all'armatura interna di un condensatore con l'armatura esterna a terra. Quando la lastra è colpita dai raggi X, avviene una forte dispersione dal suo contorno, e se il potenziale dell'armatura interna del condensatore è ben elevato, il tubo di Geissler si illumina ogni volta che si eccita il tubo di Crookes.

§ 65. **Apparecchio del Righi per la misura della dispersione prodotta dai raggi X.** — Per valutare la dispersione elettrica prodotta, sia dai raggi ultravioletti, sia dai raggi X, i fisici hanno ricorso generalmente a misure di tempo; hanno cioè determinato, nelle varie esperienze, il tempo necessario affinchè il potenziale d'un conduttore passi, per effetto delle radiazioni, da un dato valore ad un altro più piccolo che può essere anche zero. Con ciò si viene a misurare la velocità della dispersione: si potrebbe però seguire un'altra via, misurare cioè il potenziale positivo al quale un dato corpo, inizialmente scarico, è portato dalle radiazioni.

Un altro metodo per studiare siffatta dispersione sarebbe purquello adottato da Stoletow, di misurare cioè con un galvanometro l'intensità della corrente che passa per un filo, il quale riunisce il corpo esposto all'azione delle radiazioni attive con il polo isolato di una pila. L'intensità della corrente che percorre il galvanometro, non è altro che la quantità di elettricità che nell'unità di tempo abbandona il conduttore, e viene rifornita continuamente dalla pila. Ma l'intensità della corrente è estremamente piccola, cosicchè tale metodo riesce sensibile solo con galvanometri di grandissima resistenza, quando a piccola distanza dal conduttore suddetto se ne trovi un altro che comunichi col secondo polo della pila.

Il Righi ha adottato un metodo diverso, che in fondo è equivalente a quello del galvanometro: con esso l'intensità della corrente è desunta dalla differenza di potenziale alle estremità di una grandissima resistenza costante.

Un disco R di circa 11 cm. di diametro (fig. 110) rappresenta il conduttore che per opera delle radiazioni perde la sua carica: esso comunica con l'istrumento di misura E, che è un elettrometro a quadranti di Mascart, e in pari tempo col polo isolato di una batteria A di piccoli accumulatori, di cui l'altro polo comunica con il suolo. Tra R

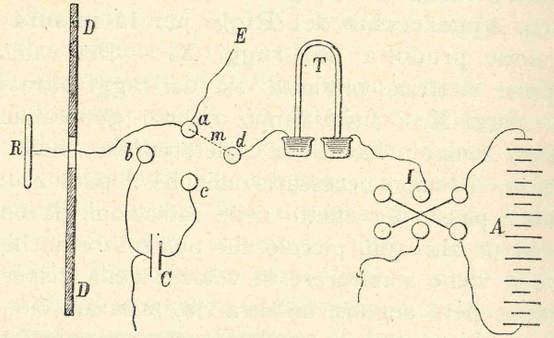


Fig. 110.

e gli accumulatori è intercalata una grande resistenza, costituita da una colonna d'alcool assoluto, contenuta in un tubo T. Una grande lastra di piombo DD ripara i vari apparecchi dall'azione dei raggi X; I è un invertitore che serve, volendo, a scambiare i poli della batteria; m è un arco metallico mobile, di cui un estremo pesca costantemente nel pozzetto di mercurio a messo in comunicazone con il conduttore R e l'elettrometro E, e l'altro estremo, a seconda che pesca nei pozzetti di mercurio d, c, b, stabilisce le comunicazioni sia con il polo isolato d della serie degli accumulatori suddetta, sia col polo di una coppia campione C di cui il polo opposto è a terra, sia con la terra mediante il pozzetto b.

Osserviamo anche che un tubo di ferro, comunicante con il suolo, circonda il filo che dal pozzetto a mette all'elettrometro.

Facendo comunicare il disco con gli accumulatori, come è indicato nella figura, si osserva nell'elettrometro una deviazione corrispondente al potenziale iniziale v_0: se allora le radiazioni di Röntgen agiscono sul disco, la deviazione elettrometrica diminuisce, indicando un nuovo potenziale v_1. La nuova deviazione resta costante finchè la emissione dei raggi X dovuta al tubo di Crookes non varia: si stabilisce difatti in tal caso un compenso fra l'elettricità dispersa nell'unità di tempo dalle radiazioni agenti sul disco, e quella che a questo forniscono gli accumulatori attraverso l'alcool contenuto nel tubo di vetro.

La quantità in discorso è evidentemente proporzionale a $v_0 - v_1$, e però questa differenza è la misura della dispersione che avviene nell'unità di tempo, quando il disco ha il potenziale v_1. La pila campione C serve a esprimere in volta, se si vuole, le indicazioni dell'istrumento.

Il Righi ha verificato che almeno fra 4 e 16 volta la differenza $v_0 - v_1$ è sensibilmente proporzionale a v_1; si può quindi prendere $\frac{v_0 - v_1}{v_1}$ come misura della dispersione.

Variando la superficie della finestra di alluminio in proporzioni conosciute, mediante opportuni schermi di piombo, l'autore ha verificato che la detta frazione è proporzionale alla superficie scoperta, e per conseguenza all'intensità della radiazione ricevuta dal disco R: dunque la dispersione prodotta dai raggi X è proporzionale alla loro intensità.

§ 66. **Azione dei raggi X sui dielettrici.** — Anche una lastra dielettrica elettrizzata in più o in meno, quando è colpita dai raggi X, assume, come un conduttore, una carica positiva finale, che raggiungerebbe pure se fosse presa allo stato naturale. Quando poi essa è polarizzata pel fatto di trovarsi in un campo elettrico, i raggi di Röntgen producono dalla sua superficie una forte convessione di elettricità.

Se al disotto di un tubo di Crookes C (fig. 111) si trova una lamina piana di alluminio AB comunicante col suolo, la quale con una lastra metallica isolata FG parallela costituisca un condensatore ad aria, collocando nell'intervallo una lastra di ebanite DE, e dando una carica positiva a FG, si riconosce, quando si eccita per qualche tempo il tubo, che ciascuna delle sue faccie acquista una carica omonima a quella dell'attigua armatura metallica.

Secondo ogni probabilità, la dispersione prodotta dai raggi X è un fenomeno di convessione lungo le linee di forza; ora il dielettrico acquista carica +, ove le linee di forze entrano in esso, carica —, ove le linee stesse lo abbandonano per uscire nell'aria; si può quindi ritenere che in ogni tubo di forza, come $cdef$, la convessione di cui è sede trasporta cariche + nel senso positivo delle linee di forza, e cariche — in senso opposto; il che avrà per conseguenza la produzione delle cariche che l'esperienza constata nel dielettrico, e la diminuzione del potenziale dell'armatura isolata FG, se la perdita non è risarcita da una pila o da altra sorgente.

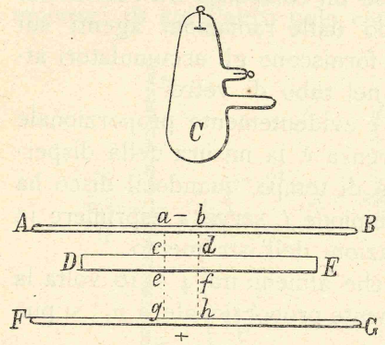


Fig. 111.

Se il dielettrico DE è posto a contatto di FG, il fenomeno convettivo si compie soltanto fra DE e l'armatura AB che non lo tocca; in tal caso il conduttore FG non perde la carica, se isolato, ma un elettrometro che comunichi con esso accusa una diminuzione di potenziale dovuta alle cariche negative che si accumulano sulla faccia superiore di DE. Cosicchè tale diminuzione di potenziale non prova punto che il conduttore FG si scarichi attraverso il dielettrico, come ammise J. J. Thomson, il quale ritenne che i raggi X rendano conduttori i coibenti solidi da essi attraversati.

Mettendo a profitto questo fenomeno, si possono ottenere imagini di oggetti che rassomigliano a quelle fotografiche, sebbene non così fine. A tale scopo una lastra metallica isolata FG è mantenuta elettrizzata da una piccola macchina elettrica (fig. 112), ad un potenziale corrispondente ad una distanza esplosiva da 6 a 8 mm. Al disopra della lastra si trova un telaio di legno, nel quale è teso un cartone nero, coperto nella sua faccia inferiore da un foglio di alluminio in comunicazione col suolo: il cartone è necessario, affinchè l'alluminio non resti deformato dal peso degli oggetti che deve sostenere. D'altra parte il solo cartone non basterebbe a cagione della sua poca conduttività, ed anche perchè se l'oggetto da fotografare è una mano, come indica la figura, darebbe luogo alla formazione di vapore di acqua, che condensandosi sul dielettrico, lo renderebbe imperfettamente isolante sulla sua superficie. Fra le due lastre metalliche si colloca una lamina d'ebanite DE, che può posare anche direttamente su FG. La distanza fra le due lastre metalliche deve essere di 1 cm. circa; il tubo di Crookes si colloca a 12 o 15 cm. al disopra dell'alluminio.

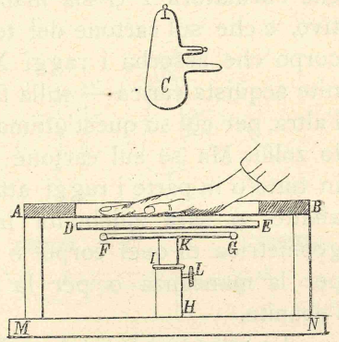


Fig. 112.

Per eseguire un'esperienza, si collocano sul cartone degli oggetti poco permeabili ai raggi X, per esempio, oggetti metallici, una busta di compassi, una mano aperta: si mette l'alluminio AB in comunicazione col suolo e la lastra FG con il polo isolato di una piccola macchina ad influenza, di cui l'altro polo comunica colla terra. Posta questa in azione ed eccitato il tubo, si prolunga l'esperienza da 3 a 10 minuti; poi si toglie la lastra d'ebanite e si proietta su essa il noto miscuglio di minio e solfo in

polvere. Apparisce immediatamente su ciascuna faccia una imagine od ombra degli oggetti che erano sul cartone: se era una busta di compassi, si vede una debole ombra di essa, ed un'ombra assai più forte dei compassi; se era una mano, se ne scorgono distinte le ossa.

Quando la lastra metallica $F\,G$ è carica negativamente l'ombre suddette risultano rosse su fondo giallo nella faccia dell'ebanite rivolta in alto, e gialle su fondo rosso nell'altra faccia.

Vediamo come si formano queste ombre: supponiamo che l'armatura $F\,G$ sia mantenuta ad un potenziale positivo, e che sul cartone del telaio $A\,B$ non sia posto alcun corpo che assorba i raggi X. Per azione di questi, l'ebanite acquista carica + sulla faccia inferiore, e carica — sull'altra, per cui su quest'ultima aderisce il minio e sull'altra lo zolfo. Ma se sul cartone si trova un corpo che arresti in tutto o in parte i raggi attivi, la loro azione o mancherà affatto, o sarà indebolita in corrispondenza dell' ombra geometrica di quel corpo, e così questa si renderà visibile per la mancanza o per la minor carica acquistata dall'ebanite.

La precisione di tali ombre è tale, che si può ottenere abbastanza distinta l'ombra di una reticella metallica; esse riescono meglio quando l'ebanite riposa sulla lastra $F\,G$; in tal caso le polveri verranno proiettate solo sulla faccia superiore dell'ebanite, e se $F\,G$ è positiva, l'ombra apparirà gialla su fondo rosso.

Una condizione essenziale da osservarsi per la buona riuscita di queste esperienze è che il potenziale dell'armatura $F\,G$ sia di conveniente grandezza, vale a dire che la forza elettrica fra le due armature di questo speciale condensatore non sia nè troppo piccola, nè troppo grande: nel primo caso occorrerebbe prolungare eccessivamente l'esperienza, nel secondo si avrebbero ombre irregolari.

Per regolare a dovere il potenziale, si possono portare i due poli della piccola macchina d'influenza alla distanza di 6 o 8 mm., e si gira il disco della macchina con

tale lentezza che le scintille o non scocchino mai o assai di raro. Ma si può anche far senza della piccola macchina ad influenza, e far servire lo stesso rocchetto che fornisce le scariche pel tubo C, a produrre fra le armature dell'apparecchio la necessaria differenza di potenziale.

Si mantengono allora le comunicazioni ordinarie fra il tubo C e il rocchetto, facendo comunicare l'anodo colla lastra d' alluminio $A\,B$ e colla terra (fig. 113), il catodo con una delle armature P di un condensatore ad aria, mentre l'armatura $F\,G$ è unita all'altro disco Q del detto condensatore.

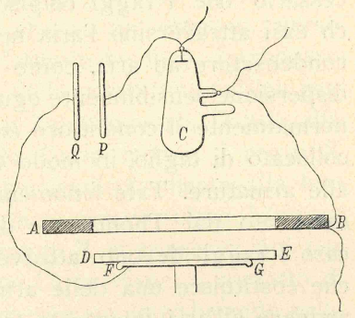


Fig. 113.

Il campo elettrico, nel quale si trova il coibente $D\,E$, esiste così negli istanti soltanto che il tubo C è in azione, e precisamente quando occorre.

Si varia per tentativi la distanza fra P e Q, finchè le ombre riescano perfette. Prima di ogni esperienza conviene tenere per qualche istante l'ebanite sopra una fiamma; con ciò non solo essa si scarica, ma resta ben secca per tutto il tempo dell'esperienza, anche quando l'atmosfera fosse umida.

§ 67. **Misura elettrica dell' intensità relativa dei raggi X.** — Il metodo descritto fornisce un mezzo comodo ed esatto di misurare l' intensità dei raggi X: basterà presentare ai raggi medesimi il conduttore R della fig. 110, e determinare la dispersione, mantenendo costanti la posizione di R come pure la resistenza T.

Un' altra disposizione adottata dal Righi consiste nel porre dinanzi ad R una lastra piana e sottile di alluminio, ovvero una reticella metallica messa in comunicazione con la terra, in modo da formare con il conduttore R un condensatore ad aria, detto dall'autore coppia foto-elettrica, in grazia di una disposizione analoga da esso adot-

tata per lo studio dei raggi ultravioletti. I raggi X, attraversando la lastra di alluminio o la reticella, faranno scemare il potenziale di *R*, e la dispersione da essi operata sarà ancora proporzionale alla intensità delle radiazioni. Con l'uso del condensatore ad aria si ha il vantaggio che gli effetti osservati dipendono quasi esclusivamente dalla modificazione che i raggi X producono nello strato d'aria interposto fra i due conduttori, e non da quella prodotta nell'aria circostante.

Affinchè poi succeda la dispersione, non è punto necessario che i raggi colpiscano il conduttore, ma basta ch' essi attraversino l'aria nella quale è immerso. Così un condensatore ad aria, come quello descritto, mostra una dispersione sensibilmente eguale, sia che i raggi colpiscano normalmente il conduttore isolato *R*, sia che questo venga collocato di taglio, in modo che i raggi risultino paralleli alle armature. Tale fenomeno, oltre che dal Righi, venne osservato dal Thomson e dal Perrin. Poichè nel primo caso i raggi devono attraversare la lastra di alluminio, che costituisce una delle armature del condensatore, per arrivare all'aria interposta fra esse, si intende che nel secondo caso, se si vuole che la dispersione risulti sensibilmente eguale, bisognerà interporre sulla via dei raggi X una lastra di alluminio di eguale spessore.

Questa esperienza prova che l'azione dei raggi X non si esercita soltanto sui corpi elettrizzati, ma anche e principalmente sull'aria che riempie il campo elettrico. Tale modo di vedere è confermato da altre esperienze di Röntgen, Battelli e Garbasso, e Villari, le quali provano che l'aria, dopo aver subìto l'azione dei raggi X, conserva per un certo tempo la proprietà di scaricare i corpi elettrizzati.

§ 68. **Esperienze di Röntgen.** — Röntgen per difendere l'elettrometro dalla influenza elettrica del tubo di Crookes, del rocchetto, dei reofori, dell'aria elettrizzata, fece costrurre un casotto di zinco di sufficiente capacità, e vi si chiuse dentro con gli apparecchi di misura. Il casotto, posto in buona comunicazione con la terra, aveva una porta di zinco che lo chiudeva per bene, e nella parete opposta a questa era formato da una grossa lastra di piombo, avente un'apertura di forma quadrata con il lato di 4 cm., chiusa con una lamina sottile di alluminio.

Attraverso a questa i raggi X penetravano nel casotto, e cadevano su un conduttore elettrizzato riunito all'elettrometro. Così operando, Röntgen confermò la rapida dispersione delle cariche sia positive che negative, possedute da corpi conduttori o coibenti; ma l'azione, secondo lui, non è direttamente dovuta ai raggi X, sibbene all'aria da essi modificata. Difatti, presa una canna di ottone lunga 45 cm. e larga 3, che ad un estremo, verso la bocca, aveva sulla parete laterale un foro, introdusse nell'altra bocca, secondo l'asse della canna, una pallina metallica isolata, comunicante con l'elettrometro. Dando alla pallina una carica, e aspirando l'aria mentre i raggi X erano diretti contro il foro, perpendicolarmente alla lunghezza della canna, la pallina si scaricava subito. L'attitudine comunicata all'aria dai raggi X si conserva poi per qualche tempo, ma svanisce se l'aria viene a contatto di una superficie molto estesa, per esempio, introducendo nella canna un soffice tappo di bambagia.

Röntgen, modificando indi la canna per poter sperimentare con gassi diversi e sotto diverse pressioni, confermò l'osservazione che il Righi aveva fatto in precedenza vale a dire che la dispersione si rallenta diminuendo la pressione: essa è inoltre maggiore con l'aria che con l'idrogeno.

La rapidità della dispersione avviene, secondo Röntgen, proporzionalmente agli altri effetti luminescenti e fotografici dei raggi X; cosicchè misurando l'effetto elettrico, si viene a misurare insieme anche questi altri.

§ 69. **Esperienze del Donati.** — Il prof. Donati aveva già prima messo in evidenza lo stesso fatto con un ingegnoso sperimento. Egli, per misurare l'effetto elettrico, si valse di un elettroscopio a foglie d'oro, chiuso entro una gabbia metallica di guardia messa in comunicazione

con la terra, e però difeso da ogni possibile influenza perturbatrice. La gabbia protettrice dava passaggio ai raggi X per un foro, che si apriva dinanzi alla pallina dell'elettroscopio.

Per mezzo di due aperture laterali, con un fascio di luce si proiettava su uno schermaglio esterno l'imagine delle due foglie, e con una scala circolare si leggeva la divergenza loro.

Gli apparecchi generatori dei raggi X, tubo e rocchetto, erano, come nell'esperienze di J. J. Thomson e del Righi, chiusi in una cassa a pareti foderate di grosse lamine di piombo: di fronte alla regione anticatodica del tubo periforme di Crookes era praticato un foro di 10 cm. di diametro, il quale essendo chiuso con una sottile lamina di alluminio, dava passaggio ai raggi X.

La lastra fotografica, ravvolta in carta nera, era ricoperta da una lastra di piombo di eguali dimensioni, che aveva quattro fori di 3 cm. di diametro, disposti simmetricamente ai quattro angoli: ad essa si sovrapponeva una seconda lastra uguale, ma munita di un sol foro, che si poteva successivamente far coincidere con ciascuno dei quattro fori della prima, lasciando così un sol foro alla volta libero al passaggio dei raggi X. Si racchiudeva ogni cosa in una scatola di cartone, che a sua volta era dentro ad una camera a pareti di piombo con un foro in corrispondenza alla finestra d'alluminio e al foro libero del sistema delle due lastre suddette. Così sopra una medesima lastra si potevano avere quattro impressioni successive, che si sviluppavano contemporaneamente, affinchè il confronto fosse più sicuro.

Ma poichè il tubo variava da una esperienza all'altra, l'autore sovrappose la gabbia di guardia della lastra sensibile a quella dell'elettroscopio, separandole con un tramezzo orizzontale collocato all'altezza del centro della finestra di alluminio. I fori delle due gabbie di guardia, disposti l'uno sotto l'altro di fronte alla finestra, ricevevano i raggi X nello stesso modo, e si prolungava l'esperienza per il tempo che occorreva, affinchè la divergenza delle foglie si riducesse da 90° a 20°.

Con questo metodo l'autore ottenne sempre le quattro imagini di ogni serie sensibilmente eguali, anche adoperando in ciascuna serie tubi e lastre diverse: onde ebbe a concludere che l'azione dispersiva sull'elettroscopio si mantiene in rapporto costante coll'attività fotografica.

§ 70. **Esperienze di Battelli e Garbasso.** — Dagli esperimenti sopra ricordati del Röntgen e del Righi risulta

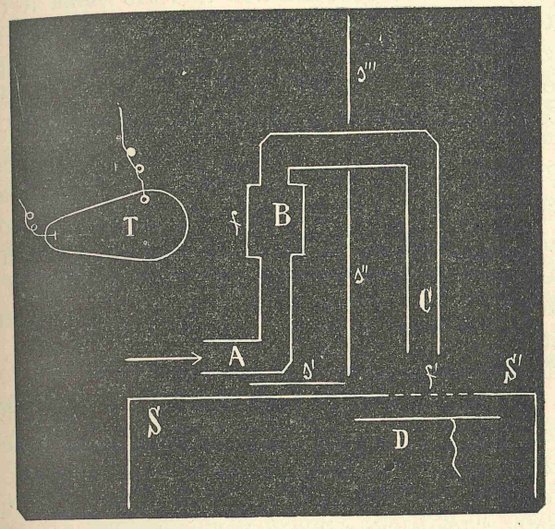


Fig. 114.

che i raggi X scaricano i corpi elettrizzati non direttamente, ma modificando in qualche maniera l'aria ambiente. Ora Battelli e Garbasso hanno voluto provare, se il modo di agire della luce ultravioletta è il medesimo. A risolvere la questione essi ripeterono l'esperienza testè ricordata del Röntgen, impiegando come sorgente, invece del tubo di Crookes, l'arco voltaico.

La fig. 114 qui sopra rappresenta il loro apparecchio: *A, B, C* è un tubo di latta avente un diametro di 3 cm.,

e una lunghezza complessiva di 70 cm. circa. In B vi è una camera cubica pure di latta, e la sua parete F è costituita da una finestra chiusa con lastre di mica e di gesso, secondo che si studiano i raggi del Röntgen o quelli della luce ultravioletta. È l'aria di questa cameretta B che si espone alle radiazioni emesse dal tubo o dall'arco. S, S', S'' sono schermi di piombo in comunicazione col suolo e opportunatamente disposti: D è un disco di zinco pulito, della cui carica si vuol determinare la dispersione; esso è unito ad un elettrometro Mascart non indicato nella figura, ed è protetto dall'ampio schermo di piombo SS', il quale ha dinanzi al detto conduttore D un foro, che, volendo, può chiudersi con lastre di mica o di gesso.

Con un mantice si produce una corrente d'aria nel senso della freccia, in modo che essa sbocchi per C di fronte al disco. Si fecero le esperienze alternativamente col tubo di Crookes e coll'arco; sebbene però l'arco fosse in grado di esercitare un'azione diretta sulla carica negativa del disco D, dello stesso ordine di grandezza di quella prodotta dal tubo di Crookes, la sua azione non era trasportata in modo sensibile dal soffio del mantice, come succede invece pel tubo di Crookes.

§ 71. **Sperimenti di lord Kelvin.** — Lord Kelvin, per constatare se o no i raggi X hanno per effetto di elettrizzare l'aria nella quale essi si propagano, intraprese esperienze, delle quali egli ha dato conto in una seduta della " Royal Society „ di Edimburgo il 21 Dicembre 1896. La disposizione da lui adottata era la seguente: ad una estremità di un cilindro di piombo lungo 76 cm., del diametro di 23 cm., coi fondi chiusi da cartone paraffinato, e quindi trasparente ai raggi X, ei pose un elettrometro, e all'altro estremo il tubo di Crookes. Nel fondo prospiciente l'ettrometro erano due fori, e per uno di essi veniva infilato un tubo di vetro di lunghezza sufficiente, affinchè l'estremo compreso nel cilindro potesse ivi occupare qualunque posizione. Per mezzo di questo tubo, con una pompa, si aspirava dell'aria; l'altro foro poco discosto dal centro dava il passaggio ad un altro tubo di vetro che, prolungato con un tubo di gomma, attingeva aria dal cortile quadrato dell'Università di Glascow fuori del laboratorio.

In una serie di prove, l'estremo del tubo aspirante, mantenuto sull'asse del cilindro di piombo, si portava dentro di questo a distanze che variavano di 10 cm. in 10 cm. a partire dal fondo più lontano del tubo di Crookes. Venne in ogni caso constatato che l'aria così aspirata attraverso a questa specie di filtro era elettrizzata negativamente, quando non s'interponeva alcuno schermo o ve n'era uno d'alluminio: e la stessa aria o non si elettrizzava punto, ovvero molto debolmente di segno negativo, quando sul cammino dei raggi X s'interponeva uno schermo di piombo. Per togliere ogni dubbio, si allontanava la sorgente dei raggi X e l'aria aspirata era lanciata sull'elettrometro; allora non si otteneva alcuna deviazione di questo, il che prova che l'aria attinta nel cortile suddetto non era abbastanza elettrizzata per determinare una deviazione, quando era provata coll'elettrometro: non si ottenne neppure alcun effetto elettrico, quando l'estremo del tubo di aspirazione toccava il cilindro di piombo in un punto qualsiasi.

In esperienze precedenti si aspirava attraverso al cilindro l'aria del laboratorio; si constatavano allora delle perturbazioni dovute alle cariche elettriche prodotte dal tubo e dal rocchetto di induzione: con tubi di vetro o d'alluminio, aspirando l'aria nel modo detto dianzi, si trovava, quando il tubo di Crookes era eccitato, che essa si elettrizzava ora positivamente ora negativamente.

Lo stesso autore ha poi voluto verificare se l'aria elettrizzata perdesse la sua carica, quando era attraversata dai raggi X. Egli trovò che quando l'aria era elettrizzata positivamente perdeva la sua carica, e in alcuni casi ne acquistava una negativa sotto l'influenza dei raggi X: fu questo fatto che lo indusse ad investigare, come si è riferito, l'effetto dei raggi in discorso su arie non elettrizzate.

In seguito a tali esperienze si vede che per proteggere l'elettrometro, è necessario di sostituire alla solita rete metallica un involucro di piombo.

§ 72. **Esperimenti del Villari.** — Sul fenomeno della dispersione delle cariche elettriche operata dai raggi Röntgen, il Villari osservò che l'interposizione di un tubo di zinco fra il Crookes e la cassa di guardia che circonda un elettroscopio, impedisce la scarica di questo, come se il tubo metallico assorbisse i raggi X. Il tubo di Crookes era posto in una cassa fatta con lastre di piombo, grosse 4 mm. circa, la quale su una parete aveva un foro di 9 cm. di fronte alla regione anticatodica del tubo. Variando in tanti modi le esperienze, l'autore verificò che i raggi X passando per un tubo di zinco o di latta, avente un diametro di poco superiore a quello del foro suddetto, diminuiscono sensibilmente di efficacia, anche se il tubo non supera la lunghezza di 30 cm.: invece tubi di alluminio, o di cartone, o fatti con reti metalliche, esercitano in questo senso un'azione di gran lunga minore. Pertanto i raggi X nel passare lungo tubi di sostanze opache, zinco o latta, perdono gran parte della loro efficacia; e sono invece poco indeboliti da tubi trasparenti, come quelli d'alluminio, di cartone o di reti metalliche. Il Villari scoperse inoltre questo fatto interessante: se s'interpone un disco di piombo bene spesso, perpendicolarmente ai raggi X, e centrato col tubo di Crookes e colla pallina dell'elettroscopio, questo, sebbene si trovi nell'ombra piena dei raggi, pure si scarica celeremente, quando si attiva il tubo di Crookes: la dispersione avviene poi tanto più rapidamente quanto più la pallina dell'elettroscopio si porta verso il limite dell'ombra suddetta, quasi che i raggi X si ripiegassero dietro al disco di piombo.

La rapidità della scarica cresce o diminuisce, a misura che cresce o diminuisce la distanza del disco dall'elettroscopio.

Lo stesso fenomeno venne pure osservato dal Righi: questi sopprimendo il conduttore R ed il filo che lo congiunge al pozzetto A (fig. 110), e chiudendo con una grossa

lastra di piombo il foro praticato nella lastra $D\,D$ che lascia passare quel filo, si osserva tuttavia una piccola diminuzione nella deviazione elettrometrica, allorchè il tubo di Crookes entra in azione. Sembra dunque che i raggi X agiscano sui vari apparecchi che sono nell'ombra della lastra $D\,D$, ed è facile persuadersi che l'effetto non è dovuto nè ad azioni elettriche emananti dagli apparecchi chiusi nella cassa metallica, nè ad imperfetta opacità del diaframma di piombo. Si potrebbe supporre che il fenomeno fosse unicamente dovuto a correnti d'aria modificate dai raggi X; ma secondo il Righi siffatte correnti d'aria non bastano a spiegarlo completamente.

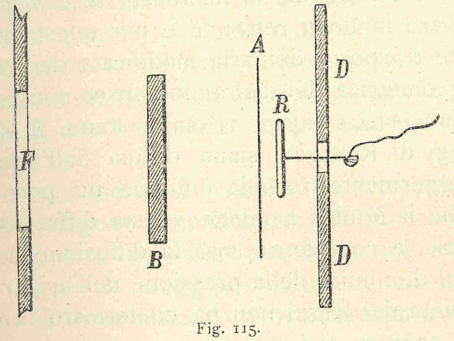


Fig. 115.

Il condensatore ad aria d'alluminio e rame $A\,R$ sia posto di fronte alla finestra F dalla quale escono i raggi X: l'armatura A è in comunicazione col suolo, mentre il disco R di 11 cm. di diametro comunica con gli apparecchi di misura, come è indicato nella fig. 115.

Fra il condensatore $A\,R$ e la finestra F è collocato un disco di piombo B di 15 cm. di diametro, per cui il condensatore resta completamente immerso nella sua ombra; ciò nondimeno, quando agiscono i raggi X, si osserva una dispersione, la quale è tanto minore quanto più il disco B si trova vicino ad F. Un fenomeno simile a quello prodotto dal disco di piombo B, si ottiene ancora con dischi di altre sostanze che assorbono solo in parte

i raggi X, come una lastra di vetro; essi ne affievoliscono l'azione tanto più quanto più vicini sono alla finestra *F*, onde s'intende la necessità di applicare direttamente contro la finestra le lastre, delle quali si volesse misurare l'assorbimento pei raggi X.

Se poi nel posto occupato dal condensatore ad aria della medesima fig. 115 si pone una lastra fotografica avvolta con carta nera, alla quale si sovrappone una reticella metallica, si ottiene dopo una posa conveniente un'ombra netta della rete. Un'esperienza simile, con pari risultato, fu eseguita dal Villari. Dunque non solo il potere di disperdere le cariche elettriche, ma anche l'azione fotografica dei raggi X, si manifesta là dov'essi non possono arrivare in linea retta; ed è per questa ragione che il semplice trasporto dell'aria modificata dai raggi X nell'ombra geometrica del diaframma opaco non basta a spiegare l'azione che i raggi ivi manifestano. Il Righi pensa che i raggi di Röntgen siano diffusi dall'aria, come un mezzo leggermente torbido diffonde un poco i raggi di luce: anche il Müller ammette questa diffusione prodotta dall'aria. Se la cosa fosse così, la diffusione dovrebbe diminuire col diminuire della pressione dell'aria, ma un'esperienza tentata dal Righi non ha confermato la cosa; forse bisognerà operare con maggiori rarefazioni.

Tornando all'esperienze del Villari, diremo ch'egli, come il Righi, ha trovato che i raggi X scaricano poco o punto un conduttore immerso in un coibente come la paraffina. In seguito a molte ed accurate ricerche, eseguite intorno a questo argomento, egli ha potuto formulare le seguenti conclusioni, che riporteremo testualmente:

1.° La scarica di un conduttore nell'aria, quando è provocata dai raggi X, sembra avvenga per convezione o trasporto, quasi per una danza elettrica delle particelle d'aria, attivata dalla radiazione.

2.° La scarica del conduttore si rallenta, se si diminuisce la superficie del conduttore elettrizzato esposta all'aria, ricoprendone una parte con della paraffina.

3.° Quando il conduttore carico è tutto ricoperto di paraffina, la scarica non appena iniziata dai raggi X, si arresta.

Poca elettricità trasportata dall'aria circostante carica la paraffina, e la scarica ulteriore viene impedita.

4.° Se il conduttore è circondato dall'aria e da un tubo di paraffina, il conduttore influenzato dai raggi X, in principio si scarica abbastanza rapidamente, ma subito dopo, la scarica procede con grandissima lentezza. L'elettricità trasportata, al solito, dall'aria, carica subito le pareti del tubo e poi con difficoltà si disperde.

5.° L'elettricità, dispersa dal corpo sotto l'azione dei raggi X, può raccogliersi su un tubo di paraffina o di metallo isolato, quando circondano il corpo che si scarica. L'elettricità raccolta sul tubo di paraffina o di metallo può direttamente osservarsi con un elettroscopio a pile secche, e riscontrarsi, com'è naturale, della stessa natura di quella del corpo.

6.° I tubi metallici isolati o no, che circondano l'elettroscopio, valgono a condensarvi le cariche che vi si impartiscono. Essi ne rallentano la scarica prodotta dai raggi X, sia per la maggiore elettricità accumulata, sia anche per la incompleta loro trasparenza ai raggi medesimi.

§ 73. **Seguito delle esperienze del Villari.** — Il fatto che i raggi X, passando per tubi opachi, perdono molto della loro efficacia a scaricare l'elettroscopio elettrizzato, indusse il Villari a pensare che i raggi agiscono non solo nel verso della loro propagazione, ma anche lateralmente. Difatti, i tubi opachi sopprimendo allora i raggi laterali divergenti e lasciando passare soltanto quelli che si propagano in linea retta tra il tubo di Crookes e l'elettroscopio, scemano l'efficacia della radiazione totale.

L'autore ha dimostrato con dirette esperienze la giustezza di questo modo di vedere: inoltre egli ha osservato che, quando i raggi X colpiscono un conduttore elettrizzato, per esempio un disco metallico unito ad un elettroscopio, il

conduttore si scarica con una certa rapidità, e presso a poco in modo uniforme dal principio alla fine. Se al contrario il conduttore è ricoperto strettamente da un coibente, come la paraffina, la scarica si rallenta subito e s'arresta in poco tempo: anzi ripetendo più volte le esperienze, si osserva che la dispersione finisce per annullarsi del tutto. Di guisa che, a seconda del modo col quale la dispersione elettrica di un conduttore succede per azione dei raggi X, si può riconoscere se la superficie del conduttore è nuda o ricoperta da un coibente.

Ponendo il tubo di Crookes in una cassa di piombo, e quest'ultima colla bobina in una cassa di zinco chiusa e comunicante col suolo, essendo le due casse fornite di un foro di 9 cm. di fronte alla regione anticatodica del tubo, il Villari espose ai raggi X un disco metallico che aveva una faccia ricoperta da uno strato di paraffina ed era collegato ad un elettroscopio a foglie d'oro. Quando si esponeva la faccia paraffinata all'azione dai raggi X, la durata della scarica di un grado aumentava progressivamente da 20^s a 80^s, senza però arrestarsi.

Ciò dimostra che, se è colpita la faccia paraffinata, la scarica avviene da questa e da quella metallica opposta, che si trova nell'ombra delle radiazioni. Bisogna quindi ammettere che i raggi X flettendosi sui bordi del disco, colpiscano ed attivino la faccia nell'ombra.

Rivolgendo invece alla radiazione la faccia nuda del disco, la scarica era uniforme, e l'elettroscopio perdeva costantemente 1° in 10^s circa: si deve quindi ammettere che la scarica in tal caso si faceva solamente dalla faccia nuda. Ma i raggi che si ripiegavano nel primo caso, dovevano anche ripiegarsi nel secondo; e poichè la paraffina è assai trasparente, i raggi avrebbero dovuto arrivare alla superficie metallica e attivarne la scarica, come nel caso dei conduttori coperti da strati coibenti, detto sopra: tutto questo però non si verifica punto. Questi fatti confermano che il fenomeno della scarica è provocato non direttamente dai raggi X, ma dall'aria attivata dal loro passaggio (§ 68):

l'aria così modificata dai raggi che passano lateralmente al disco, si diffonde rapidamente nell'ombra di questo, e battendo sulla faccia metallica ne promuove la scarica.

Ma se la faccia è coperta dalla paraffina, l'aria attiva o scaricatrice non potrà pervenirvi, e la faccia ricoperta non parteciperà alla diffusione elettrica. La quale diffusione poi potrà effettuarsi per convezione o trasporto dovuto alle particelle d'aria, vale a dire per una specie di danza elettrica resa più viva dall'azione dei raggi X.

Il Villari a sostegno di tale interpretazione, ha fatto molti esperimenti, dei quali noi riferiremo uno solo diretto a confermare il fatto osservato dal Röntgen, che se si fa passare una corrente d'aria, la quale ha subìto l'azione dei raggi X, sopra un elettroscopio carico, questo si scarica; mentre la stessa corrente, non attivata dai detti raggi, non esercita alcuna azione sull'elettroscopio. Per fare l'esperienza, ei pose un tubo di Crookes periforme G nell'interno di una cassa di piombo PP a grosse pareti (fig. 116); questa, insieme all'induttore R, è a sua volta nell'interno di un'altra cassa di zinco ZZ unita al suolo. In O, di fronte alla regione anticatodica, erano praticati nelle casse due fori di conveniente diametro. Un vaso V di zinco, colla parete che guarda

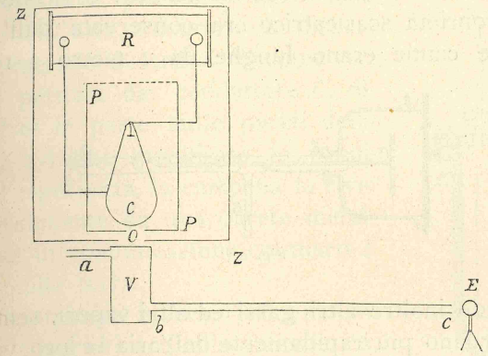


Fig. 116.

il tubo di lastra sottile d'alluminio, riceve per la tubulatura A, col mezzo di una soffieria, una corrente gassosa che va pel tubo $b\,c$ a urtare la pallina E dell'elettroscopio.

Con un cannocchiale munito di reticolo ed un orologio contatore, si misurava il tempo corrispondente alla caduta di un dato valore del potenziale.

Così disposte le cose, il Villari ha trovato che mentre l'elettroscopio non era influenzato della corrente d'aria, quando il tubo di Crookes era inattivo, la stessa corrente invece scaricava più o meno rapidamente l'elettroscopio quando il tubo C era messo in azione; e riconobbe che questa proprietà scaricatrice era conservata dall'aria anche se le canne erano lunghe da 1 metro a 10 metri.

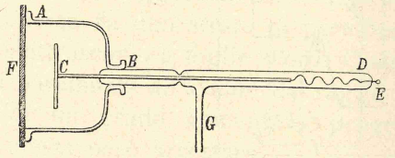


Fig. 117.

Adoperando inoltre altri gassi ed altri vapori, sembra che questi perdano più rapidamente dell'aria la loro virtù scaricatrice. La sostanza del tubo $b\,c$ non pare che abbia alcuna azione.

§ 74. **Influenza della pressione sulla dispersione dell'aria provocata dai raggi X.** — Stabilito che i raggi X scaricano i corpi elettrizzati allora soltanto che questi sono immersi nei gas, restava a chiarire l'andamento del fenomeno, quando si cambia la pressione o la temperatura del gas, oppure la sua natura.

A ciò si accinse il Righi: l'apparecchio da lui adoperato per studiare l'influenza della pressione, consta di una campana di vetro $A\,B$, chiusa alla bocca da una lastra di alluminio A, applicata con un mastice di cera e colofonia. Essa contiene un disco metallico C (fig. 117), fissato all'estremità di una asticella pure metallica, la quale può scorrere entro un tubo di vetro $B\,D$ fissato con mastice al collo della campana; la detta asticella, e quindi il disco, è unita a un'elica fatta con un sottilissimo filo di platino, saldato nel vetro. Così è possibile far variare la distanza fra il disco C e la lamina d'alluminio F; basta a tal uopo inclinare un poco l'apparecchio e scuoterlo leggermente. La chiusura è assai buona, tanto che, congiungendo l'apparecchio ad una pompa a mercurio per mezzo della tubulatura laterale G, si può spingere il vuoto sino a pochi millesimi di millimetro. Essendo messo il disco F in comunicazione col suolo ed i fili di platino coll'apparecchio della fig. 110 si poteva, per ogni valore della pressione dell'aria, misurare la dispersione col metodo descritto. Siccome poi la carica perduta dal conduttore C, distribuendosi in parte sulle pareti della campana, avrebbe modificato le condizioni dell'esperienza, la campana fu rivestita internamente da una parete metallica messa in comunicazione col disco F e quindi colla terra.

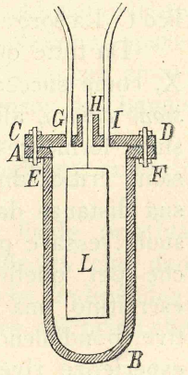


Fig. 118.

Per esaminare invece l'influenza di pressioni superiori a quella atmosferica, l'autore si è servito di un cilindro d'alluminio $A\,B$, alto 15 cm., avente il diametro esterno di 6 cm., colle pareti dello spessore di 0,5 cm. Esso è chiuso in basso e in alto; per mezzo di viti che passano nell'orlo sporgente vi viene fissato un grosso coperchio $C\,D$ con 3 tubulature G, H, I. Per la tubulatura centrale H passa un filo di rame che regge la lastra metallica L, e lo spazio compreso tra le pareti della tubulatura e il filo è stato riempito con gomma lacca fusa. Ai fori G e I sono saldati due lunghi tubi d'ottone, comunicanti, uno con un manometro metallico, e l'altro con una pompa che può comprimere l'aria nell'interno sino a 12 atmosfere. Quest'aria è attraversata dai raggi X, i quali la raggiungono dopo esser passati per la parete d'alluminio; per cui

se questa è in comunicazione col suolo, e la lastra L comunica coi soliti apparecchi della fig. 110, si potrà misurare il rapporto $\frac{v_o - v_1}{v_1}$, che misura la dispersione.

Il risultato fu questo, che la dispersione diminuisce insieme alla pressione.

L'autore ha fatto anche un diretto confronto fra l'azione dei raggi X e quella dei raggi ultravioletti per pressioni inferiori ad 1 atmosfera, adoperando un apparecchio simile a quello della fig. 117 in cui al disco d'alluminio si sostituiva un disco di quarzo, ed una reticella metallica comunicante col suolo era collocata dinanzi al disco metallico C. La sorgente dei raggi ultravioletti era l'arco voltaico.

Da tutte queste esperienze risultò che anche pei raggi X, come succede per quelli ultravioletti, esiste una *pressione critica*, alla quale la dispersione in discorso è massima, ferme restando le altre condizioni. La detta pressione critica dipende dal potenziale del conduttore e dalla sua distanza dai corpi circostanti in comunicazione con il suolo: essa è poi, *coeteris paribus*, maggiore pei raggi X che per quelli ultravioletti. Sebbene quest'ultimi non esercitino una sensibile dispersione delle cariche positive, nondimeno l'autore, rilevando le analogie che tali esperienze rivelano fra le due specie di radiazioni, propende a ritenere che i raggi X, come gli ultravioletti, siano costituiti da vibrazioni trasversali dell'etere, aventi però lunghezza d'onda assai minore.

Ed un'altra importante analogia fra le due specie di radiazioni è, secondo il Righi, questa, che un conduttore scarico o carico comunque, viene portato dai raggi X ad un potenziale positivo finale, e che: *la carica finale di un conduttore esposto alle radiazioni di Röntgen cresce al diminuire della pressione dell'aria che lo circonda, precisamente come accade, allorchè si fanno agire le radiazioni ultraviolette.*

Molti altri sperimentatori che si sono occupati dell'argomento, quali Benoist e Hurmuzescu, J. J. Thomson,

non hanno potuto, come si è detto, constatare questa carica finale positiva, di cui discorre il Righi, e secondo essi la scarica sarebbe completa: altri invece, come J. J. Borgman e A. L. Gerchun, esponendo un disco di zinco direttamente alle radiazioni di un tubo di Crookes, trovarono che il disco assumeva una carica negativa; toglie però molto valore a questo risultato la circostanza che essi non difendevano con alcuno schermo dalle molteplici influenze elettrostatiche, il disco esposto ai raggi X.

Invece Sella e Maiorana confermarono i risultati del Righi; essi sperimentavano circondando il tubo di Crookes, e non il conduttore esposto ai raggi X, con una cassa metallica, precisamente come faceva il Righi. Abbiamo detto sopra la diversità che corre nelle due disposizioni sperimentali, e il Righi assegna specialmente a questa circostanza se Benoist, Hurmuzescu e J. J. Thomson non hanno trovato la carica finale positiva.

Anche i proff. Lussana e Cinelli ottennero, come il Righi, un potenziale finale positivo.

Tuttavia la constatazione della carica finale positiva presenta, nel caso dei raggi X, una difficoltà che non esiste nel caso dei raggi ultravioletti, anche indipendentemente dal fatto che detta carica è minore coi primi che coi secondi.

Difatti, se a poca distanza dal conduttore esposto all'azione dei raggi X, e sul quale si vuol constatare la detta carica finale positiva, si trovano altri conduttori comunicanti con il suolo, accadranno convezioni di elettricità negativa da questi a quello e viceversa, che si opporranno al formarsi della carica positiva sul primo conduttore, giacchè anche i corpi suddetti risentono l'azione dei raggi X, non fosse altro in causa della diffusione che questi subiscono nell'aria. Nel caso dei raggi ultravioletti tale effetto secondario della convessione della carica negativa dei conduttori comunicanti con il suolo verso l'altro riunito all'elettrometro, non succede, se non si pulisce bene la loro superficie.

Occorre dunque evitare che al conduttore, soggetto a esperimento, se ne trovino altri vicini, se si vuole trovare la carica finale positiva che acquista in virtù dei raggi X. E poi, se come per l'azione dei raggi ultravioletti, il conduttore assume sotto quella dei raggi X una carica limite, il potenziale positivo finale sarà tanto minore, quanto più saranno a lui vicini i conduttori circostanti comunicanti con il suolo, perchè allora la sua capacità è maggiore.

Si comprende da qui che per constatare la detta carica positiva finale, la migliore disposizione è quella adottata dal Righi, di collocare entro una cassa metallica i corpi generatori dei raggi X, piuttosto che i corpi su i quali devono agire, com'è l'altra disposizione adottata da Benoist e Hurmuzescu, sebbene più comoda.

§ 75. **Ipotesi della convezione elettrica nei gas.** — Secondo il Righi la dispersione provocata dai raggi X sarebbe dovuta ad una convezione, ossia ad un trasporto delle cariche elettriche, il quale si compirebbe per mezzo di particelle materiali, secondo le linee di forza.

Già in precedenti lavori, lo stesso autore ha dimostrato la stessa maniera di convezione elettrica quando l'elettricità si disperde da una punta metallica elettrizzata nell'aria alla ordinaria pressione, o da un filo metallico sottilissimo fortemente carico. Le traiettorie percorse dalle particelle elettrizzate non dipendono nè dalla massa di queste nè dalla carica, e differiscono tanto meno dalle linee di forza, quanto minore sarà la velocità che acquistano nel loro movimento. Ora si può supporre: 1.° che quelle particelle elettrizzate siano particelle solide staccate dai corpi che perdono la loro carica; 2.° ovvero che esse altro non siano che le molecole del gas; 3.° od anche che esse siano dei ioni liberi. In ogni caso, le particelle perderanno velocità in causa della resistenza dell'aria nella quale devono muoversi, ovvero per le frequenti collisioni molecolari e atomiche.

In seguito a molte ricerche sui fenomeni elettrici prodotti dalle radiazioni ultraviolette, il Righi ebbe a persuadersi che l' elettricità negativa, che abbandona un corpo colpito dai raggi ultravioletti, viene pur essa trasportata da particelle materiali, le quali nelle ordinarie condizioni, si muovono sensibilmente secondo le linee di forza. Che l'elettricità si trasporti sui corpi vicini, risulta da questa circostanza che essa si ritrova, dopo l'esperienza, su dielettrici scarichi posti fra il conduttore elettrizzato e altri conduttori vicini non isolati. E che il trasporto si effettui secondo le linee di forza in un gas alla pressione ordinaria, l'autore lo ha dimostrato tanto nel caso della dispersione che si fa da una punta o da un filo sottile, quanto nel caso delle radiazioni ultraviolette, producendo le *ombre elettriche*. A tal fine si intercetta la corrente delle particelle, che operano il trasporto, con un corpo qualunque posto fra il conduttore elettrizzato e una superficie di un dielettrico che si trova più lontano; si osserva allora su questa, mediante la proiezione del miscuglio di zolfo e minio, l'ombra elettrica del corpo frapposto, ossia una regione scarica, la quale non è colpita dalle particelle elettrizzate in moto.

Ammesso pertanto che la propagazione dell'elettricità attraverso l'aria nelle circostanze suddette, sia un fenomeno di trasporto secondo le linee di forza, resta a decidere quale sia la natura delle particelle che l'effettuano: ciascuna delle tre ipotesi accennate può essere ammessa. In ogni caso però, se scema la densità del mezzo nel quale la propagazione avviene, le traiettorie delle particelle differiranno di più in più dalle linee di forza, poichè diminuiscono la resistenza al movimento e le reciproche collisioni: con le maggiori rarefazioni, le traiettorie suddette si accosteranno sensibilmente alla forma rettilinea, come accade nei tubi di Hittorf e di Crookes.

Il Righi ha poi constatato con diretti sperimenti che la quantità di elettricità, che in un dato tempo arriva così in un punto qualunque dello spazio circostante al conduttore elettrizzato, con potenziali non troppo elevati, è proporzionale al *numero delle molecole del gas, che in un dato*

tempo e in virtù del loro moto termico, possono giungere a quel punto dopo essersi riflesse sul conduttore. Questo risultato parrebbe dimostrare che il trasporto venga effettuato dalle molecole gassose, le quali giungendo sul conduttore a causa de'moti da cui sono animate, e caricandosi a spese di esso, se ne allontanano poi con una velocità, che sarà prossimamente quella termica, se la forza elettrica non è considerevole. Ma quando si impiegano potenziali elevati, è molto probabile che la convezione sia operata anche da particelle materiali staccate dai conduttori. Nulla impedisce poi di ammettere che, in luogo delle molecole, il trasporto sia operato da ioni liberi: se la cosa è così, i ioni si muoveranno con le loro cariche positive o negative, obbedendo alle forze elettriche; quelli positivi tenderanno a spostarsi in un senso, e quelli negativi in senso contrario.

Ammessa questa ipotesi, bisogna supporre che i raggi ultravioletti, colpendo un conduttore carico negativamente, determinino la produzione de' ioni liberi, scomponendo, verosimilmente, le molecole gassose contigue alla sua superficie. Ma nel caso dei raggi X, poichè non è necessario, affinchè la dispersione accada, che essi incontrino il conduttore elettrizzato, ma soltanto i tubi di forza che a questo fanno capo, così bisognerà supporre che detti raggi abbiano la virtù di liberare nel loro camminoi ioni capaci di effettuare il trasporto elettrico.

Queste, in riassunto, le idee del Righi sulla quistione: che poi in verità anche la diffusione elettrica operata dai raggi X sia una convezione, è ciò che il Righi si è studiato di mettere in chiaro, come ora vedremo.

§ 76. **Della maniera con la quale i raggi X scaricano i corpi elettrizzati.** — L'esperienze seguenti del Righi mettono in evidenza il trasporto di elettricità secondo le linee di forza, prodotto dai raggi X.

Una lastra di ebanite orizzontale, munita di una armatura metallica sulla faccia inferiore, è posta al disotto di una sfera conduttrice isolata, alla distanza di 6 o 7 cm.: l'ebanite si tiene prima, per pochi istanti, sopra una fiamma,

nel fine di asciugarla e scaricarla per bene. Una croce di ebanite, vien collocata fra la sfera e la lastra di ebanite suddetta: il tubo di Crookes, insieme con gli apparecchi che servono ad eccitarlo, è chiuso nella solita cassa metallica.

L'armatura metallica e la sfera vengono messe in comunicazione coi poli di una piccola macchina elettrica a influenza, fatta girare con lentezza, affinchè non scocchino mai, o di rado, fra i suoi due poli scintille di 5 o 6 mm. Si fa agire la macchina e il tubo di Crookes, per 3 o 4 minuti; poi si toglie la lastra di ebanite e vi si proietta il miscuglio di minio e zolfo. Allora appare subito l'ombra della croce, e se la sfera era positiva, l'ombra spicca in rosso su fondo giallo. La forma e la posizione di quest'ombra sono quelle che si prevedono, ammettendo che la croce impedisca il libero movimento, secondo le linee di forza, delle particelle elettrizzate che trasportano su l'ebanite la carica della sfera.

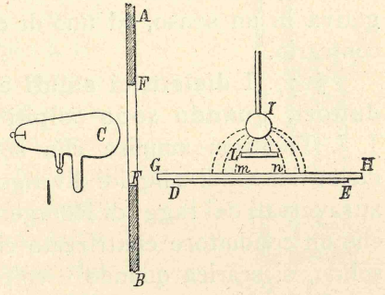


Fig. 119.

Che l'effetto sia dovuto ai raggi X, è provato dal fatto che, ripetendo l'esperienza senza eccitare il tubo, l'ombra manca: essa manca del pari, se si chiude la finestra di alluminio per la quale escono i raggi, con uno schermo opaco ai raggi X.

Per riconoscere poi se realmente le traiettorie percorse dalle particelle elettrizzate coincidono con le linee di forza, il Righi dispone (fig. 119), al disopra della lastra di ebanite *G H* avente la sua armatura *D E*, una riga di ebanite *L*, parallela alla lastra. Procedendo come nell'esperimento precedente, si ottiene un' ombra *m n* di *L*, limitata da rette, le quali hanno precisamente la posizione

che si prevede, conducendo, come nella figura, le linee di forza.

Pare quindi provato, che quando i raggi X agiscono sull'aria che circonda i corpi elettrizzati, determinano in seno al gas un trasporto di elettricità, che si effettua sensibilmente lungo le linee di forza. Ma è d'uopo osservare che nel caso delle ombre elettriche prodotte con una punta elettrizzata o con un conduttore negativo colpito dai raggi ultravioletti, la convezione ha luogo solo a partire dalla punta o dal conduttore; nel caso de' raggi X invece ha luogo una doppia convezione in tutto il gas che si trova nel campo elettrico, e cioè un trasporto di elettricità negativa in un senso, ed uno di elettricità positiva in senso contrario.

§ 77. **I dielettrici solidi e liquidi diventano conduttori, quando sono colpiti dai raggi X?** — Il prof. J. J. Thomson ammise che non solo i gas, ma anche i dielettrici solidi e liquidi divengono conduttori quando sono attraversati dai raggi di Röntgen (§ 63). Egli trovò difatti che un conduttore elettrizzato circondato da un dielettrico solido, si scarica quando è colpito dai raggi X.

Il Righi osserva a tale riguardo, che se la superficie esterna del dielettrico è in contatto dell'aria, la convezione che succede fra il dielettrico stesso e i corpi circostanti comunicanti con il suolo, fa sì che il dielettrico si carichi alla sua superficie esterna di elettricità contraria a quella del conduttore; onde ne nasce, come si è avvertito al § 66, che il potenziale del conduttore diminuisce, mentre in realtà la sua carica resta invariata: del resto il Righi ha con dirette esperienze dimostrato che la carica del conduttore si propaga punto o poco nel dielettrico, e che però non può dirsi che questo acquisti un certo grado di conducibilità per opera dei raggi X.

Il conduttore elettrizzato adoperato in tali esperienze è una lastra di rame AB riunita con il filo CN all'elettrometro; essa si trova in una cassetta di piombo $DEGH$ comunicante col suolo, la cui parete DE che guarda la

finestra FF, donde partono i raggi X, è costituita da una lastra d'alluminio LM. Riempiendo la cassetta con dielettrici liquidi (olio d'oliva, essenza di trementina, olio di vaselina), e con dielettrici solidi (paraffina, gomma lacca, colofonia), i quali ultimi erano introdotti nella cassetta fusi, indi lasciati solidificare, l'autore non potè osservare alcuna sensibile dispersione. La conclusione è che i dielettrici solidi o liquidi, non acquistano alcuna conducibilità elettrica in virtù dei raggi X.

Il Villari ha con numerose esperienze trovato gli stessi risultati del Righi: egli ha dapprima sperimentato con dielettrici solidi, involgendo con essi il gambo ed il bocciuolo dell' elelettroscopio a foglie d'oro. Caricando l'elettroscopio bene isolato e protetto, ed esponendo il bocciuolo e il gambo ricoperti di paraffina ai raggi X, l'autore ha trovato che questi raggi producono in sulle prime una lieve scarica, la quale però cessa del tutto dopo poche osservazioni, quando la superficie della paraffina si è messa in equilibrio elettrico col conduttore; con gli altri coibenti solidi la cosa procede allo stesso modo. Adattò indi con un tappo di gomma al gambo dell' elettroscopio una boccia di vetro capovolta e senza fondo, ch'egli riempiva di vari liquidi coibenti, e rinchiudeva ogni cosa in una cassa metallica avente il fondo superiore d' alluminio, dinanzi al quale era il tubo di Crookes.

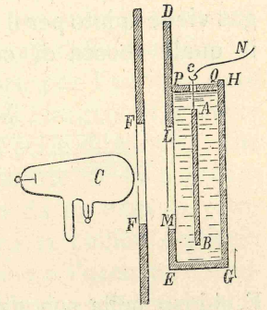


Fig. 120.

Tale disposizione permetteva di fare agire direttamente i raggi X sul liquido, e di poter variare lo spessore dello strato liquido sovrastante alla pallina.

Finchè la pallina e il gambo dell'elettroscopio erano scoperti, la scarica avveniva in modo rapido, sia colla boccia vuota, sia piena di qualche liquido. Invece chiudendo il bocciuolo e il gambo dell'elettroscopio in un tubo di piombo,

l'elettroscopio non risentiva dal tubo di Crookes alcuna influenza.

Sperimentando in seguito con i gassi, lo stesso autore trovò che la scarica avviene tanto più rapidamente, quanto più essi sono densi: tutti questi risultati sono in pieno accordo, come si vede, con quelli del Righi.

Valendosi poi dell' apparecchio rappresentato dalla fig. 121, lo stesso fisico scoperse che le scintille godono come i raggi X la proprietà di modificare i gas, e di renderli atti a scaricare i corpi elettrizzati. Nel tubo di vetro a scintille *C*, chiuso con tappi di gomma e provvisto di due elettrodi *e* a punta di platino, scoccano delle scintille. Il gas viene spinto per il cannello *a* nel tubo *v* lungo 80 c. circa, il quale sbocca di contro alla pallina dell' elettroscopio.

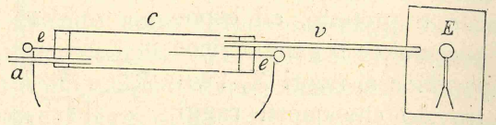


Fig. 121.

E, chiuso nella sua gabbia di guardia comunicante con la terra. Le scintille in *c*, lunghe 12 mm., erano fornite da un grosso rocchetto, e rinforzate da due condensatori di notevole capacità disposti in cascata. Spingendo per *a e v* una corrente d'aria contro l'elettroscopio, si osserva che questo si scarica rapidamente. Il fenomeno è complesso: esso dipende dalla natura del gas e dalla lunghezza della canna. L'autore attribuisce questa proprietà dei gas ad una decomposizione delle molecole, vale a dire ad una specie di elettrolisi, per la quale i ioni resi liberi possono più agevolmente trasportare con loro le cariche elettriche.

D'altra parte si sa che l' effluvio elettrico, o la cosidetta pioggia di fuoco degli ozonatori, ha la virtù di trasformare parzialmente l'ossigeno O_2 in O_3. Cosicchè l'effetto dell'effluvio sull'ossigeno sarebbe quello di associare gli atomi, e perciò contrario a quello supposto dei raggi X.

La prima conseguenza è che l' ozono non dovrebbe avere la proprietà di scaricare i corpi elettrizzati: per verificare questa cosa il Villari costruì un ozonatore con una canna di vetro 3 × 60 cm., rivestita parzialmente di stagnola all' esterno, e avente l'armatura interna fatta di un filo di ferro circondato da un tubetto di vetro, fissato al primo per mezzo di tappi di gomma. Per acconcie tubulature si spingeva l' aria o l' ossigeno nell' ozonatore, e su l'elettroscopio chiuso nella gabbia di guardia unita al suolo. L' effluvio elettrico fra le due armature dell'ozonatore era prodotto col riunir questo ai poli di una forte bobina: il Villari, come di già il Naccari, ha trovato che l'ozono così prodotto non aveva per nulla la proprietà scaricatrice, caratteristica dei gas attivati dalle scintille. La stessa cosa succedeva facendo passare per l' ozonizzatore in attività una corrente di gas luce o di idrogeno. L'effluvio elettrico non agisce quindi come una serie di scintille; che anzi adoperando il tubo a scintille descritto sopra, con l'aggiunta di un ozonizzatore prolungato da un tubo di vetro o di ottone che portava il gas contro la pallina dell'elettroscopio, ed attivando insieme il tubo e l'ozonatore, l'autore trovò il fatto importante: che l'effluvio elettrico annulla la proprietà scaricatrice impartita ai gas sia dalle scintille che dai raggi X.

Questi fenomeni sono favorevoli all' ipotesi della dissociazione dei gas operata dai raggi X. L'ossigeno dell'aria dissociato in parte da questi raggi scarica l'elettroscopio, ma trasformato in ozono o condensato perde la sua virtù scaricatrice. E cotesta proprietà acquista importanza maggiore, quando si considera che essa non si limita alla sola aria atmosferica.

§ 78. **Ufficio del dielettrico nella scarica operata dai raggi di Röntgen — Sperimenti di Perrin.** — Si è detto innanzi, che per la scarica di un conduttore elettrizzato in virtù dei raggi X, non è necessario che questi colpiscano il conduttore, ma basta che incontrino le linee di forza che ad esso fanno capo. Il Perrin, ha studiato con

molta cura tale fenomeno, ed ha messo in chiaro per via di esperimenti, che *i tubi di forza incontrati dai raggi X si comportano come dei conduttori*, purchè essi si trovino in un gas. Ne viene di conseguenza che un corpo elettrizzato, posto in un'atmosfera tranquilla, si scarica se alcuno dei tubi di forza ch'esso emette è incontrato dai raggi. Ed anche avviene che un conduttore isolato, senza carica iniziale, ma posto in un campo elettrico, si carica quando dei raggi X tagliano i tubi di forza che ne emanano.

Fra le molte esperienze dell' autore dirette a dimostrare questa verità, riferiremo la seguente, che è, per così dire, caratteristica: una lastra rettangolare P' tagliata

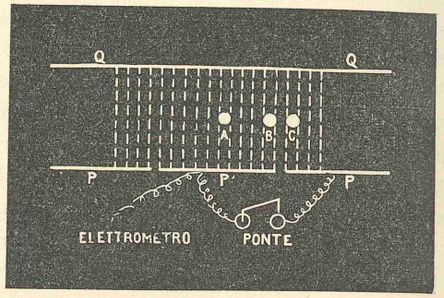


Fig. 122.

in una delle armature di un condensatore P, Q (fig. 122) è riunita all'ago di un elettrometro; in principio dell'esperienza essa è anche unita al resto dell' armatura P, che serve d'anello di guardia, come nell'elettrometro assoluto di Lord Kelvin. Dopo aver caricato il condensatore, si toglie la comunicazione fra P' e P e si fa passare i raggi X, in modo che non possano colpire le armature poste ad una distanza di 5 cm.

Supposta la traiettoria dei raggi X perpendicolare al piano della figura, vale a dire parallela alle armature del condensatore, si osserva che l'azione loro è energica, quando essi passano in A; essa è prossimamente la stessa, quando passano in B, e si annulla quando si propagano

in C. Bisogna ora considerare che la distanza BC rappresentava, nelle esperienze del Perrin, sensibilmente la larghezza del fascio dei raggi, e la convezione e la diffusione loro erano sensibilmente le stesse in B e in C; ma in quest' ultimo punto i tubi di forza che emanavano dalla lastra P', non erano più incontrati dai raggi.

Per spiegare poi l'azione dei tubi di forza, il Perrin ammette anch'egli che i raggi X dissocino certe molecole del dielettrico dov'essi penetrano, mettendo in libertà dei ioni positivi e negativi. Se esiste un campo elettrico, i ioni positivi si muoveranno a seconda delle linee di forza, e quelli negativi in verso contrario; così le due correnti di ioni, penetrando l'una nell'altra lungo i tubi di forza, si propagheranno nella direzione della forza, finchè incontreranno le cariche che terminano siffatti tubi, o quando si imbatteranno in qualche ostacolo.

Ma non sembra neppure necessario che il campo preesista: basterà produrlo prima che le molecole dissociate abbiano avuto il tempo di riformarsi. Si spiegherebbero così le esperienze di J. J. Thomson, Röntgen, Battelli e Garbasso, Villari, ecc., i quali hanno potuto scaricare i corpi elettrizzati, facendo passare su essi dell'aria che aveva subìto l'azione dei raggi X. Il Perrin, precisando le sue idee, pensa che i raggi in discorso fornirebbero la energia per la dissociazione delle molecole in ioni liberi, e il campo elettrico quella necessaria al loro trasporto.

Secondo questa ipotesi, la quantità di elettricità che attraversa il gas sotto la influenza del campo, non può superare quella messa in libertà, insieme con i ioni, dai raggi. Adoperando il condensatore descritto dianzi, e facendo variare la distanza delle armature da 1 a 10 cm., e la differenza di potenziale da 2 a 220 volta, in modo che il campo variasse da 1 a 1100, il Perrin ha ottenuto risultati che sono rappresentati dalla curva della fig. 123, dove le ascisse sono proporzionali al valore della forza elettrica, le ordinate alle corrispondenti quantità di elettricità; si vede che si trova subito un *rendimento* massimo,

che misura la quantità di elettricità neutra dissociata dai raggi. Inviando nel condensatore fasci di raggi con l'angolo al vertice 1, 2, 3, 4, l'autore ha trovato che le quantità di elettricità neutra dissociate erano proporzionali a questi numeri. Cosicchè si potrebbe determinare la quantità dei raggi X nell'interno di un cono, che ha al vertice la sorgente, per mezzo della quantità di elettricità dissociata in questo cono per ogni unità di lunghezza, in un dato gas preso ad una pressione e ad una temperatura determinate.

Questa definizione suppone che i raggi X non diminuiscano sensibilmente nello spazio considerato, per diffusione o assorbimento.

Quando i raggi incontrano nella loro propagazione soltanto le linee di forza emanate dal corpo elettrizzato,

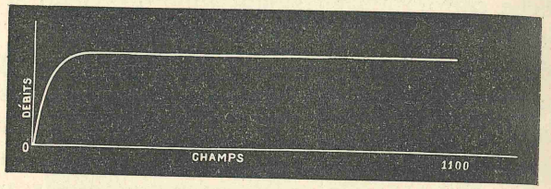


Fig. 123.

il fenomeno della scarica dipende dalla natura del gas, ma non da quella del corpo carico. La cosa procede però diversamente, quando i raggi colpiscono il detto corpo: allora la scarica si fa più veloce, e secondo Benoist e Hurmuzescu la natura dei metalli influisce su questa velocità; stando alle loro esperienze, tale dispersione si compirebbe, a parità di condizioni, con il platino in un tempo metà che con l'alluminio; mentre la differenza sarebbe piccola con il rame e lo zinco, pei quali la dispersione risulterebbe più celere che per l'alluminio, e meno che pel platino. Secondo il Righi invece la natura del conduttore non ha in questi fenomeni tanta influenza, quanta ne ha nella dispersione prodotta con i raggi violetti. Può darsi che i risultati ottenuti in ricerche di questo genere, variino insieme alla qualità del tubo e alla specie dei raggi X che esso

emette: sarebbe bene quindi proseguire lo studio sperimentale della quistione.

Ad ogni modo, quando i raggi incontrano il conduttore elettrizzato, v'ha un effetto nuovo che si aggiunge, senza alterarlo, all'effetto operato sul gas. Questi effetti non dipendono dall'angolo che la direzione della forza elettrica fa con la propagazione dei raggi. Il Perrin prendeva un condensatore formato da due armature metalliche piane, separate da uno strato di aria; una di queste aveva una finestra rettangolare coperta con una foglia di alluminio: i raggi, perpendicolari alle armature, entravano per questa finestra nel condensatore, producendo un effetto sul gas e sul metallo. L'effetto sul metallo è superficiale, e risulta nullo quando le superficie metalliche sono ricoperte da un sottile strato di petrolio, di alcool, di acqua. Ciò posto, si ricopriva l'armatura munita di finestra, nella faccia interna, d'una carta umida assai fina, e allora i raggi X producevano il loro effetto soltanto sulla faccia interna dell'altra armatura. Facendo variare la distanza delle due armature del condensatore da 0,2 cm. a 5 cm., la dispersione si effettuava secondo la espressione $a + be$, a e b essendo due costanti, ed e lo spessore del condensatore: il termine be corrisponde all'effetto sul gas, e la costante a a quello sul metallo. Con uno spessore di 1 cm., l'effetto operato sul metallo (zinco) risultò $\frac{41}{100}$ dell'effetto totale; con l'alluminio riuscì di gran lunga minore.

Quando il valore del campo aumentava, l'azione sul gas e quella sul metallo aumentavano in proporzione, ma si raggiungeva presto un valor limite (fig. 123) indipendente dal campo.

Tanto l'effetto sul gas che quello sul metallo dipendendo dalla intensità dei raggi, e variano come l' inversa del quadrato della distanza dalla sorgente.

Una conseguenza che deriva subito dalle cose dette è che la legge di Benoist e Hurmuzescu, secondo la quale la dispersione avverrebbe proporzionalmente alla radice

quadrata della densità, non può essere esatta: tale legge deve essere molto più complessa.

L'effetto operato dai raggi X sui gas, per cui sono messe in libertà quantità eguali di elettricità positiva e negativa che si muovono lungo i tubi di forza, dipende evidentemente dalla natura del gas: esso è detto dal Perrin *ionizzazione cubica*. Essendo la medesima la sorgente, tale ionizzazione varierà da un gas all'altro, cosicchè i coefficienti di ionizzazione cubica costituiscono delle vere costanti fisiche.

Analogamente l'effetto sui metalli si spiegherebbe supponendo che al contatto di un conduttore, la ionizzazione del gas deve riuscire diversamente intensa a seconda della natura del conduttore stesso e dalla pressione del gas: il Perrin chiama questo fenomeno *ionizzazione superficiale* del gas al contatto del conduttore. Il coefficiente di ionizzazione superficiale per un gas e un dato metallo risulterebbe determinato, quando si scegliesse il gas pel quale il coefficiente di ionizzazione cubica è 1.

In seguito a ciò la legge generale delle scariche operate dai raggi X può essere così formulata: la quantità di elettricità perduta nel tempo dt da un conduttore posto in un gas in quiete, alla pressione p, sotto l'azione di una sorgente pochissimo estesa d'intensità I, è eguale a

$$I\,dt\left[Kp\iiint\frac{dv}{r^2}+K'\varrho\,(p)\iint\frac{ds}{r^2}\right],$$

qualunque sia la temperatura, trascurando l'assorbimento, e supponendo il campo elettrico sufficientemente intenso affinchè il rendimento limite sia raggiunto.

In questa formola K è il coefficiente di ionizzazione cubica del gas, K' il suo coefficiente di ionizzazione superficiale al contatto del conduttore; l'integrale triplo è esteso al volume comune ai raggi ed alle linee di forza emanate dal conduttore, l'integrale doppio è esteso alla superficie elettrizzata colpita dai raggi; r indica la distanza di ciascun elemento del volume o della superficie dalla sorgente. Ciascuno poi di questi elementi dovrebbe essere affetto dal segno +, se le linee di forza che l'attraversano emanano dal conduttore, dal segno — se esse vi terminano.

§ 79. **Esperimenti di A. Sella e Q. Maiorana.** — Riferiremo da ultimo le importanti esperienze di Sella e Maiorana sull'azione elettrica dei raggi Röntgen. Essi osservarono che la distanza esplosiva di una scintilla in derivazione sulla corrente di scarica di un rocchetto, che eccitava un tubo di Crookes, era in presenza dei raggi Röntgen molto minore che quando questi erano intercettati. La fig. 124 rappresenta la disposizione sperimentale: in R, R' fanno capo gli estremi del circuito secondario di una bobina di Ruhmkorff; due grossi fili di rame riuniscono i detti poli al catodo C ed all'anodo A di un tubo di Crookes, di cui ϱ è la regione anticatodica, mentre MM' sono le palline di un eccitatore messo in derivazione. Tra ϱ ed MM' si possano collocare degli schermi trasparenti od opachi ai raggi Röntgen.

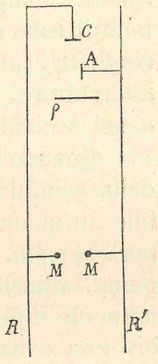


Fig. 124.

Sperimentando in questo modo i due fisici riconobbero che la distanza esplosiva in MM' diminuisce, quando i raggi X si propagano liberamente, ovvero quando tra ϱ e MM' sono interposti schermi trasparenti; se al contrario s'interpone uno schermo opaco di piombo, di zinco, di vetro spesso, la distanza esplosiva aumenta notevolmente; così mentre nel primo caso si ottengono appena, fra due palline di ferro di 1 cm. di diametro, scintille di 4 cm., nel secondo se ne hanno lunghe 7 cm.

L'azione dell'interruttore del rocchetto, serve solo ad ottenere rapidamente la ripetizione del fenomeno, il quale si verifica d'altronde con una scarica sola, interrompendo a mano il primario dell'apparecchio d'induzione.

Affinchè il fenomeno riesca, è utile di porre a terra un punto del circuito fra l'elettrodo negativo del Crookes e la sferetta negativa dello spinterometro: data poi la

grande distanza esplosiva, riusciva facile ricercare con opportuni schermi su quale dei due poli si esercitasse l'azione impeditrice dei raggi Röntgen, e risultò che essa ha luogo sul polo positivo. Appena questo è protetto dai raggi Röntgen, le scintille scoccano, anche se l'aria fra le sferette *M M'* ed il polo negativo seguita ad essere illuminata. Il fenomeno si verifica lo stesso, se s'inserisce fra un elettrodo del tubo e la corrispondente sferetta dell'eccitatore, conduttori dotati di fortissima autoinduzione, come secondarii di grossi rocchetti, ovvero grandi resistenze senz'autoinduzione, come colonne liquide. Si possono anche rendere indipendenti le due correnti di scarica che eccitano il tubo di Crookes e lo spinterometro, prendendo due rocchetti i cui primari siano in serie, e su cui agisca lo stesso interruttore, ponendo nel secondario dell'uno il Crookes e nel secondario dell'altro l'eccitatore.

Quando i raggi Röntgen impediscono la produzione della scintilla, si ha una condizione elettrica molto instabile, in quanto che basta una piccola perturbazione come, per esempio, l'approssimare un pezzo di vetro terminato a punta, affinchè la scintilla subito scocchi. Per ottenere una notevole differenza nelle due distanze esplosive suddette, bisogna evitare la vicinanza di corpi estranei presso l'eccitatore, mantenere ben pulite le sferette, ecc.

Ora ricordiamo che secondo le esperienze di Hertz (§ 19) completate dagli studi di E. Wiedemann ed Ebert, Elster e Geitel, la luce ultravioletta produce un fenomeno opposto; essa cioè, anzichè contrariare la produzione delle scintille, la favorisce: ond'è che i due autori si diedero a studiare accuratamente il fenomeno.

Posto uno schermo opaco fra il tubo di Crookes e l'eccitatore in modo da eliminare i raggi X, e poi illuminando l'eccitatore dall'altra parte con un arco voltaico ricchissimo di radiazioni ultraviolette, poterono constatare che la luce elettrica agisce nello stesso modo dei raggi Röntgen, e che essa parimenti fa sentire la sua azione sul polo positivo. Importava vedere allora se anche coi raggi Röntgen si potesse ottenere il fenomeno di Hertz; e difatti ponendo il tubo di Crookes sul secondario di un rocchetto, e producendo una scintilla passiva di pochi millimetri fra poli piuttosto grossi riuniti al secondario di un altro rocchetto posto in serie col primo, essi osservarono che i raggi X facilitavano in tal caso la produzione della scintilla.

E per vedere su quale dei due poli si facesse sentire l'azione, adottarono la disposizione della figura precedente, sostituendo però alle primitive sferette dell'eccitatore due sfere di ottone amalgamate del diametro di 52 mm.: regolando allora l'intensità della corrente primaria del rocchetto, poterono constatare che alla distanza esplosiva di 13 mm., per quanto in tal caso il Crookes s'illuminasse assai debolmente, si verificava il fenomeno di Hertz: aumentando poi la distanza esplosiva sino a 24 mm., lo stesso fenomeno diventava sempre più cospicuo; verso i 30 mm. l'azione era nulla, ed a 38 mm. avveniva la inversione dapprima osservata da Sella e Maiorana.

In queste condizioni è facile constatare che *verificandosi il fenomeno di Hertz, il polo illuminato vuol essere il negativo; verificandosi invece il fenomeno di Sella e Maiorana, il polo illuminato vuol essere il positivo.*

Facendo di poi agire sullo stesso eccitatore la luce di un arco voltaico, dopo di aver impedito con uno schermo la propagazione dei raggi X, si ripetevano parallelamente i due fenomeni, avendosi nettamente il primo alla distanza esplosiva di 24 mm., il secondo a 38 mm., e si constatava lo scambio del polo influenzato.

Il presentarsi del primo o del secondo fenomeno dipende dunque dalla distanza esplosiva: la *distanza esplosiva neutra,* quella nella quale non v'ha azione, ma bensì passaggio da un fenomeno all'altro, dipende dal diametro dei poli dell'eccitatore: si può dire in generale che si ottiene facilmente il primo con palle grosse, il secondo con palle piccole, relativamente alla distanza esplosiva.

Quando si esperimenta con distanze esplosive vicine a quella neutra, si sente nettamente alterata l'altezza del suono della scintilla; un tubo di Geissler posto nel circuito dell'eccitatore s'illumina con diverse intensità; cambia la traiettoria della scintilla; tutto insomma dice che i raggi X alterano profondamente la natura della scarica. Gli stessi fenomeni avvertirono Wiedemann ed Ebert facendo agire la luce ultravioletta di un arco voltaico sopra uno spinterometro riunito ai poli di una macchina elettrostatica. È giusto ricordare che anche Swyngedauw e Guggenheimer hanno studiato, come Sella e Maiorana, lo stesso fenomeno; ma i risultati delle loro osservazioni sono meno interessanti, in quanto che essi non videro che una fase sola.

§ 80. **I gassi prodotti dalla combustione influiscono sulla lunghezza della scarica esplosiva nell'aria — Esperimenti di Garbasso.** — La somiglianza di comportamento dei raggi Röntgen e della luce ultravioletta fa supporre che la natura di quelli non sia diversa dalla natura di questa: certo, se tali esperienze non dimostrano che i raggi X sono raggi luminosi a periodo molto breve, rendono però tale ipotesi estremamente probabile. Ma il Garbasso si è studiato di produrre gli stessi fenomeni escludendo ogni azione dei raggi ultravioletti, e impiegando i prodotti della combustione che, come si sa, sono capaci di produrre la dispersione delle cariche elettrostatiche. Questo fisico pensa che, secondo ogni probabilità, i gassi della combustione contengono delle molecole dissociate, ossia ioni liberi; cosicchè essi avrebbero, pel modo della loro azione sui corpi elettrizzati, una somiglianza più stretta coi raggi del Rontgen, che non coi raggi della luce ultravioletta.

Infatti i prodotti della combustione forniti da una fiamma scaricano egualmente i corpi elettrizzati in + e in −, mentre la luce ultravioletta disperde le sole cariche negative. Il Garbasso studiando la modificazione che la scintilla elettrica subisce per l'azione della fiamma, ha trovato che *i prodotti della combustione danno luogo esattamente agli stessi fenomeni che Sella e Maiorana ottennero coi raggi del Röntgen e colla luce ultravioletta.* L'azione di una fiamma di favorire la scintilla venne attribuita sempre alla rarefazione dell'aria prodotta dal riscaldamento, oppure alla luce emessa dalla fiamma; ma secondo l'Autore queste interpretazioni sono almeno incomplete. Egli nelle sue esperienze si è servito di un rocchetto di media grandezza, che poteva dare scintille di 1 cm. o poco più fra le due sfere di uno spinterometro, di 3 cm. di diametro: si regolava la distanza di queste in modo che fosse un po' maggiore di quella che il rocchetto poteva superare; portando allora sotto alle palline, alla distanza di qualche decimetro, una piccola fiamma, s'inizia senz'altro una serie di scintille vivacissime.

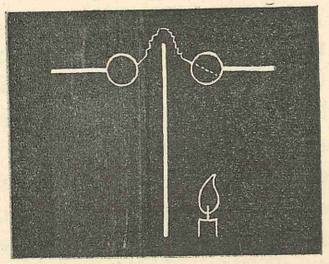


Fig. 125.

Per verificare che l'azione non s'esercita sull'aria interposta sulle sferette, ma solo sulla estremità polare negativa, si pone fra le palline una lastra di vetro rettangolare, in guisa che uno dei lati più corti orizzontali sia un po' più alto delle sferette, come mostra la fig. 125. Se si procura che la via allo scarica sia un poco più lunga di quella che le scintille possono superare, si trova che portando una fiamma alternativamente a destra e a sinistra della lastra, le scintille scoccano quando la fiamma si trova sotto alla sferetta negativa. A riconoscere il segno elettrico delle sferette, il Garbasso si serviva di un tubo di Crookes posto in derivazione nell'intervallo di scarica.

Completamente diversa è l'azione che esercita una fiamma sopra una scintilla lunga.

Se il rocchetto può dare una scintilla di 6 o 7 mm., e si regola l'intervallo in modo che le scariche passino difficilmente, ponendo una fiamma sotto l'elettrodo positivo, esse cessano del tutto. Gli esperimenti riescono colla

fiamma di un cerino, con quella di un becco Bunsen, ed anche colla fiamma dell'idrogeno; nè importa menomamente che le fiamme siano isolate o a terra. Non è neppur necessario che le fiamme agiscano direttamente sugli elettrodi, affinchè si producano questi effetti: essi si verificano anche quando i prodotti della combustione vi sono guidati per mezzo di un lungo tubo; nè è a pensare che il fenomeno dipenda dalla temperatura dei gas impiegati, poichè una corrente di aria calda non è capace di modificare punto la distanza esplosiva di una scintilla, e si possono ottenere i medesimi risultati con i gassi di una fiamma, dopo averli raffreddati col farli passare in un serpentino di vetro immerso nell'acqua.

Quando le condizioni di sensibilità sono tali che la scintilla non sente una fiamma posta lateralmente sebben molto vicina, mentre l'effetto della stessa fiamma è evidente se la si tiene sotto l'intervallo anche a mezzo metro di distanza, si può provare che l'effetto è dovuto ai prodotti della combustione, e non alla luce ultravioletta, col fatto che ogni azione cessa se con un mantice si produce orizzontalmente un soffio in modo da deviare la colonna ascendente dei gassi della combustione. E neppure le fiamme agiscono pel vapor d'acqua che emettono, perchè getti di vapore non esercitano alcuna sensibile azione.

Pertanto il Garbasso conclude che se le fiamme esercitano sulle scintille azioni identiche a quelle dei raggi X, egli è perchè esse molto probabilmente, come i raggi del Röntgen e quelli ultra-violetti, agiscono in virtù delle molecole dissociate, vale a dire delle particelle elettrizzate. Onde si tratterebbe di un fenomeno secondario che non implica necessariamente l'identità del meccanismo nei due casi.

BIBLIOGRAFIA.

Benoist et Hurmuzescu (*Comp. Rend.*, 3 février 1896).

J. J. Thomson (*Electrician*, 7 février 1896, pag. 491).

Augusto Righi (*Res. della R. Acc. di Bologna*, 9 febbraio 1896).

H. Dufour (*Arch. des Sciences Phys. et Nat.*, 10 février 1896).

J. J. Borgmann et A. L. Gerchun (*Comp. Rend.*, 17 février 1896).

W. K. Röntgen, *Ueber eine neue Art von Strahlen II. Mittheilung*.

Battelli e Garbasso, *Sulla dispersione delle cariche elettrostatiche prodotta dai raggi ultravioletti* (*N. Cimento*, serie 4.ª, t. III; giugno 1896).

E. Villari, *Rend. della R. Acc. de' Lincei*, vol. V, 2.° sem., p. 93.

L. Donati, *R. Acc. delle scienze di Bologna*, 31 maggio 1896.

Lord Kelvin, *Electrical-Review january I*, 1897.

E. Villari, *Rend. della R. Accad. delle scienze fisiche e mat. di Napoli*; aprile, maggio, giugno e luglio 1896; *N. Cim.*, serie 4.ª, t. III, p. 306, 359, 370; serie IV, tom. IV, p. 112, 114, 117, 170, 234; serie IV, t. V, p. 203.

Müller, *Wiedemann Annalen*, 1896, p. 771.

Sella e Majorana, *Rend. della R. Acc. dei Lincei*; febbraio 1896.

Lussana e Cinelli, *Atti della R. Acc. di Siena*, serie 4.ª, vol. VIII.

A. Righi, *Le ombre elettriche. — Mem. della R. Acc. di Bologna*, serie 4.ª, t. II (*N. Cimento*, 3.ª serie t. XI, p. 123).

— *Sulla convezione elettrica* (*Rend. della R. Acc. de' Lincei*; 2 marzo 1890).

A. Righi, *Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni — Memorie della R. Acc. di Bologna*, serie 4.ª, t. IX (*N. Cimento*, 3.ª serie, t. XXIV, p. 256; t. XXV, p. 11-123).

— *Sulla convezione fotoelettrica e su altri fenomeni — Memoria della R. Acc. di Bologna*, serie 4.ª, t. X (*N. Cimento*, 3.ª serie, t. XXX, p. 198.

A. Naccari, *N. Cimento* (3), p. 27, 228 (1890).

J. Perrin, *Rôle du diélectrique dans la decharge par les rayons du Röntgen* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 351).

Benoist et Hurmuzescu, *Journal de Physique*, août 1896.

J. Perrin, *Decharge par les rayons de Röntgen — Rôle des surfaces frappées* (*Comp. Rend.* t. CXXIII, p. 455).

A. Sella e Q. Majorana, *Azione dei raggi Röntgen e della luce ultravioletta sulla scarica esplosiva nell'aria. -- Rend. della R. Acc. dei Lincei*, vol. V, serie 3.ª, fasc. 7.° (12 aprile 1896).

A. Garbasso, *Di alcune azioni che esercitano i gas prodotti dalla combustione su la lunghezza della scarica esplosiva nell'aria.* (*N. Cimento*, serie 4.ª, vol. III, (luglio 1897).

Guggenheimer, *Sur l'influence des rayons Röntgen sur la distance explosive de l'etincelle électrique* (*Comp. Rend.* t. CXXIII, p. 359).

Swyngedauw, *Sur l'abaissement des potentiels explosifs statiques et dynamiques par les radiations* (*Comp. Rend.* t. CXXI.I, p. 374).

CAPITOLO VII.

ALTRI ESPERIMENTI.

§ 81. **I raggi X nei campi magnetici ed elettrici.** — Importava grandemente per la teoria del fenomeno vedere se i raggi X fossero o no deviati nella loro propagazione rettilinea da un campo magnetico. Le esperienze a tale riguardo sono parecchie; noi ne riferiremo solamente alcune tra le più decisive.

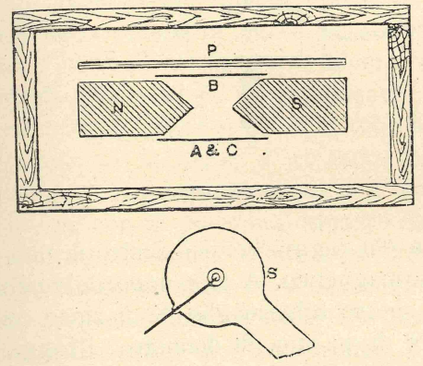


Fig. 126.

Lodge sperimentava nel seguente modo: egli fotografava nello stesso tempo un'elettrocalamita potente S,N (fig. 126) sebbene di piccole dimensioni, ed un paio di fili A e C posti parallelamente alla retta congiungente i poli e vicini alla sorgente dei raggi X, e un terzo filo B posto

più vicino alla lastra sensibile. Si disponevano le cose in guisa che l'ombra netta e ben definita di quest'ultimo filo si designasse tra le ombre più diffuse dei due fili *A* e *C*.

Vennero prese due radiografie con la calamita eccitata, ma con i poli invertiti. Sovrapponendo le due prove con le ombre di *B* in coincidenza, non fu possibile scoprire il menomo spostamento delle ombre *A* e *C*.

Questa esperienza, che è d'accordo con altra simile di Röntgen, prova che i raggi X non sono deviati da una calamita, quando si propagano nell'aria alla densità ordinaria: bisognava però vedere se la detta rifrazione si fosse verificata nel vuoto, nelle stesse condizioni cioè nelle quali si constata

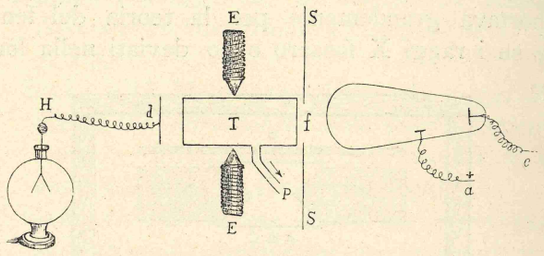


Fig. 127.

la deviazione dei raggi catodici dentro il tubo, per mezzo di un campo magnetico. A tale uopo il Murani prendeva un ampio e spesso schermaglio *S* di zinco con un' apertura circolare di 35 mm. di diametro: i raggi X prodotti dal tubo propagantisi attraverso all' apertura *f* (fig. 127), attraversavano un tubo di vetro *T* lungo 12 cm. circa e del diametro interno di $4^{cm},2$, il quale per mezzo di un' appendice laterale poteva essere riunito ad una pompa a mercurio *P* di Sprengel. Le basi del tubo lavorate finamente a smeriglio erano munite di due ghiere metalliche, sulle quali con un po' di grasso si adattavano a perfetta tenuta d'aria, due dischi di alluminio ben piani, spessi ciascuno $1^{mm},5$. Uno dei detti dischi di alluminio chiudeva l'apertura circolare *f* dello schermaglio, con il quale

era in contatto: il tubo *T* si trovava tra le espansioni polari di una elettrocalamita, e di fronte alla base più lontana dello schermo, a breve distanza da essa, era collocato un disco *d* di ottone, del diametro di 5 cm., congiunto col mezzo di un filo conduttore alla sferetta *H* di un elettroscopio. L'isolamento essendo buono, quando si dava al sistema una carica qualunque, le foglie d'oro restavano a lungo divergenti e immobili: ma non si tosto il tubo di Crookes era eccitato, esse si chiudevano, e si abbassavano rapidamente per la dispersione elettrica operata dai raggi X, i quali, dopo aver attraversato i dischetti di alluminio che chiudono il *T*, arrivavano sino al disco d'ottone isolato *D* comunicante con l'elettroscopio. Le cariche elettrostatiche del tubo e del rocchetto non potevano esercitare influenza alcuna sull'elettroscopio, attraverso all'ampio schermaglio di zinco messo in buona comunicazione con la terra.

Per mezzo della pompa di Sprengel si cominciava a vuotare il tubo *T* fino ad ottenere una buona rarefazione; ciò fatto, con una pila a secco si comunicava una carica positiva all' elettroscopio e si eccitava il tubo di Crookes. Contando il tempo che le foglie d'oro mettevano a chiudersi, sia quando il campo magnetico era eccitato, sia quando non lo era, non si potevano ottenere che menome differenze ora in un senso ora in un altro, attribuibili al fatto che l' efficacia di un tubo di Crookes varia fra una prova e l' altra, e probabilmente anche alla modificazione dell'aria prodotta dai raggi X. Con un altro tubo, le cui basi erano chiuse da due dischetti di legno imbevuti e coperti di paraffina, i quali mantenevano il vuoto ed erano ancora più permeabili dell'alluminio ai raggi X, i risultati furono presso a poco i medesimi.

Il campo magnetico era così potente che una massa di rame in rapida rotazione vi si arrestava subito, come nella classica esperienza di Faraday, non si tosto veniva eccitato l'elettromagnete.

Ora se i raggi X ubbidissero al pari dei catodici a un campo magnetico, avrebbero dovuto rifrangersi lateral-

mente, e una parte almeno di essi non avrebbe dovuto emergere dalla base del tubo: la conseguenza di tutto questo, come è naturale, avrebbe dovuto essere un sensibile ritardo nella dispersione della carica dell'elettroscopio.

Ma quest'altra esperienza del Murani fondata sull'azione fotografica dei dati raggi è più decisiva, e toglie ogni dubbiezza in riguardo.

Con due fenditure parallele f, f' lunghe 3 cm. e larghe $0^{cm}2$, poste alla distanza di 5 cm. e praticate in due ampi schermi di lastre di zinco, si limitava il fascio dei raggi X prima che arrivassero al tubo T (fig. 128): così

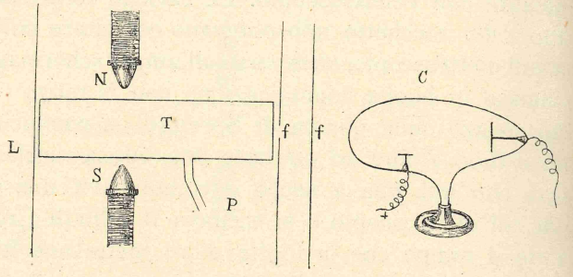


Fig. 128.

lungo questo si propagava un fascio di raggi sensibilmente parallelo. In L era posta una lastra sensibile protetta nel solito modo e posta molto vicino alla base del tubo: si ricopriva la sua metà superiore con uno schermo di piombo, e si faceva funzionare il tubo di Crookes per 10 minuti senza eccitare il campo magnetico; poi scoprendo la metà superiore, si copriva invece quella inferiore e si eccitava il campo. Se i raggi X avessero deviato dalla loro propagazione rettilinea nel campo magnetico, la imagine della semifenditura inferiore avrebbe dovuto subire uno spostamento rispetto a quella della semifenditura superiore ottenuta senza l'eccitazione dell'elettromagnete. Ma invece le due imagini, un po' più larghe delle fenditure a cagione della distanza della lastra, mostravano chiaramente, essendo l'una esattamente sul prolungamento dell'altra, che non si era verificata rifrazione alcuna.

Per vedere poi se i raggi di Röntgen si rifrangessero in un campo elettrostatico, il Murani disponeva l'esperienza nel modo indicato dalla fig. 129: S ed S' sono due schermi di zinco che portano due fori quadrati eguali; su quello più lontano dal tubo sono tesi verticalmente due fili metallici paralleli in modo da dividere l'apertura in tre striscie parallele, e all'incirca uguali. La lastra L protetta nel solito modo era messa in posizione verticale, normalmente all'asse delle due aperture, alla distanza di 5 cm. da quella che portava i fili; sul suo coperchio ve-

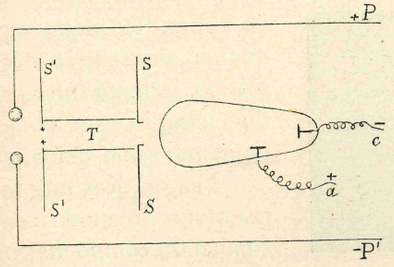


Fig. 129.

niva fissato parallelamente agli altri due, in una posizione intermedia, un terzo filo metallico. Con uno schermo di piombo, come nell'esperimento precedente, si proteggeva la metà superiore della lastra e si eccitava il tubo di Crookes; poi si esponeva all'azione dei raggi X la metà superiore, e si copriva invece la inferiore, e inoltre si eccitava un potente campo elettrostastico fra due sferette isolate, distanti 3 cm., e poste sul cammino dei raggi, con la retta dei centri orizzontale, fra il secondo foro e la lastra; esse comunicavano con le armature interne de' due condensatori di una macchina elettrica ad induzione.

Si faceva ruotare il disco della macchina con lentezza, affinchè le scintille non scoccassero punto ovvero assai di rado, e si proseguiva l'esperienza per lo stesso tempo: se

i raggi di Röntgen avessero risentito l'azione del campo elettrostatico, le ombre dei due fili, di cui l'apertura quadrata era fornita, non avrebbero dovuto essere sul prolungamento l'una dell'altra; ma l'impressione fotografica riprodotta nella fig. 130 mostra invece che le due imagini sono esattamente l'una sul prolungamento dell'altra. È vero che le ombre dei due fili, ingrandite a cagione della loro distanza dalla lastra sensibile, sono un po' sfumate; ma nondimeno i contorni si scorgono abbastanza bene, e si può asserire che non v' ha rifrazione sensibile.

Per accertarsi meglio della cosa, il Murani limitava in un'altra esperienza il fascio con due strette fenditure parallele: chiudendo con foglie di piombo prima le metà superiori, e poi, quando si eccitava il campo elettrostatico, le metà inferiori, egli ottenne due imagini esattamente sul prolungamento l'una dell'altra.

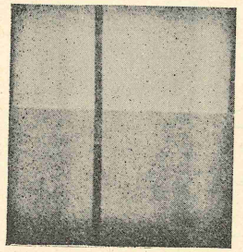


Fig. 130.

I raggi di Röntgen pertanto non risentono in modo sensibile nè l'azione d'un campo magnetico, nè quella di un campo elettrostatico. Parrebbe quindi che i raggi X non consistano in una proiezione di particelle elettrizzate, come è probabile che sia pei raggi catodici, perchè in tal caso essi avrebbero dovuto in queste esperienze subire delle rifrazioni. Ricorderemo anche come Sella e Maiorana, sperimentando in modo analogo, abbiano trovato i medesimi risultati.

Tuttavia alcune esperienze di Lafay dimostrano che i raggi X sono rifratti in un campo magnetico, dopo il loro passaggio però attraverso ad una lastra di metallo elettrizzata. A tal uopo una sottile foglia di argento chiude una fenditura praticata in una lastra di piombo, e porta secondo l'asse di questa un filo di platino. Il fascio dei raggi X che attraversa la fenditura chiusa dalla lastrina suddetta, vien prima limitato da un' altra fenditura della larghezza

di 2 mm., posta a 5 cm. di distanza dalla regione anticatodica del tubo di Crookes. Per mezzo dell'azione fotografica anche il Lafay constatava, come nelle esperienze precedenti, che il passaggio dei raggi tra i poli di un'elettrocalamita posta dietro il secondo schermo, le cui linee di forza erano parallele alle fenditure non produce alcun spostamento nell'imagine del filo di platino; ma se si elettrizza la laminetta d'argento, si ottiene allora una deviazione dell'imagine, che cangia di senso con quello del campo e il segno dell'elettrizzazione.

Per elettrizzare la foglia d'argento suddetto, Lafay la riuniva all'uno o all'altro polo della bobina di induzione che eccitava il tubo, od anche ai poli di una macchina ad influenza. La lastra sensibile era posta alla distanza di 15 cm. circa dall'elettrocalamita.

Una circostanza curiosa è poi questa che i raggi sono pure deviati, se passano attraverso il campo magnetico prima ancora della loro elettrizzazione.

Riferiremo anche quest'altro esperimento dello stesso autore: un fascio di raggi di Röntgen, dopo esser passato attraverso ad un diaframma conduttore, penetrava per un' apertura in un cilindro cavo di piombo, dalle spesse pareti, nell'interno del quale si trovava un disco metallico isolato ed unito all'elettrometro. Quando si pone il diaframma suddetto in comunicazione con una sorgente d'elettricità positiva o negativa, si constata che dell'elettricità dello stesso nome si sviluppa sul disco conduttore colpito dai raggi: la sua carica cresce rapidamente in principio, ma poi raggiunge un limite più o meno alto a seconda della sostanza che lo compone.

Ove poi si metta il diaframma conduttore in comunicazione con la terra, il disco si scarica fino al potenziale zero; tutto cioè avviene come se il diaframma e il disco fossero rilegati da un filo di grande resistenza e male isolato. Lafay per studiare il modo con il quale i raggi si elettrizzano, ha esaminato l' azione di un gran numero di diaframmi che venivano elettrizzati, consistenti

in fogli di differenti metalli, sovrapposti in numero variabile, o in fogli di carta imbevuta con un liquido conduttore. Tali prove hanno mostrato che tanto per la carica che per la scarica del disco conduttore che si trova entro il cilindro di Faraday, il trasporto dell'elettricità è tanto più rapido quanto il diaframma è più trasparente.

Sopprimendo poi il diaframma elettrizzato posto sul cammino dei raggi, l'elettrometro indicava una leggera carica positiva del disco conduttore, ma molto minore di quella che si otteneva con l'impiego di raggi elettrizzati, che potevano subire la deviazione magnetica. Da tutti questi sperimenti Lafay dedusse che i raggi ordinariamente emessi dal tubo di Crookes sono debolmente elettrizzati in più, e che essi riprendono con l'elettrizzazione le proprietà dei raggi catodici che avevano in parte perduto attraverso le pareti del tubo.

Ma si può supporre invece che le traiettorie, secondo le quali si propagano i raggi, divengano conduttrici, e che i ioni liberati lungo esse siano trasportati dai raggi a seconda dei principi conosciuti.

§ 82. **Sperimenti di Battelli e Garbasso.** — La grande somiglianza delle proprietà dei raggi X e dei raggi Lenard (§ 42), come i fenomeni di fluorescenza, la propagazione rettilinea, la trasparenza dei corpi opachi per la luce, l'azione sulle lastre sensibili, la fotografia attraverso a lamine di alluminio, perfino la dispersione delle cariche elettrostatiche, insomma una così grande copia di proprietà comuni agli uni e agli altri, hanno indotto il Battelli e il Garbasso a pensare che tra i primi raggi e i secondi non vi sia alcuna differenza essenziale.

Il Battelli proseguendo quest'ordine di idee, ha messo in evidenza l'azione fotografica esercitata direttamente dai raggi catodici nell'interno del tubo, con l'esperienza seguente: in un tubo di forma cilindrica (fig. 131) è saldato nel suo mezzo un cannello di vetro *C* avente il diametro circa di 2 cm.; da questo cannello s'introduce nel tubo *T* una pellicola sensibile chiusa in un doppio strato di carta

nera e avvolta sopra un cilindro di ottone, per modo che gli estremi combacino perfettamente lungo la linea *A* (vedi fig. 132 ingrandita). Il cilindro metallico poi è sostenuto da un altro di cartone, che scorrendo a sfregamento dolce entro al cannello *C*, permette di dare alla pellicola sensibile l'orientazione voluta.

Longitudinalmente, su quattro linee situate a 90° l'una dall'altra, vengono disposti quattro disegni di fili metallici dirimpetto al catodo, all'anodo e alle due parti che guardano le pareti laterali. Ponendo il tubo *C*, che ha servito a introdurre la pellicola sensibile, in comunicazione co-

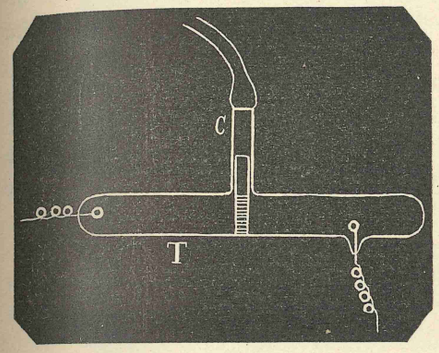


Fig. 131.

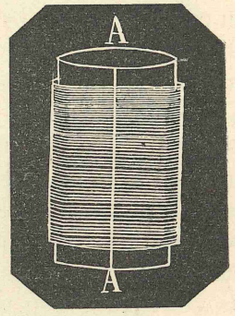


Fig. 132.

stante con una pompa a mercurio, quando la pressione è ridotta a 1 centesimo o 2 di mm. di mercurio, si fa passare nel tubo la scarica d'una macchina di Wimshurst. Battelli si era prima accertato che la carta proteggeva assolutamente la pellicola sensibile dalla luce del giorno. Sperimentando in questo modo, si ottenne con tubi di vetri differenti costantemente una forte impressione di fronte al catodo, con una imagine netta del disegno corrispondente; una impressione pressochè nulla di fronte all'anodo, e nessuna impressione sulle parti laterali. Sostituendo i disegni a fili di rame e di alluminio, con altri fatti di fili di rame e di magnesio, non si è potuta osservare

alcuna differenza apprezzabile fra le ombre del rame e quelle degli altri metalli, contrariamente a ciò che succede fuori del tubo.

Quest' azione fotografica non è punto dovuta ad un effluvio elettrico tra il cilindro metallico e la carta nera che ricopre la pellicola, poichè proteggendo la pellicola contro le azioni elettrostatiche per mezzo di una reticella metallica posta in buona comunicazione con la terra, le impressioni fotografiche suddette, insieme all'ombra della rete, succedono con la medesima intensità. Tuttavia si adatterebbe a questa esperienza la medesima obbiezione che il Poincaré fece ad una esperienza analoga di G. de Metz, vale a dire che i raggi catodici battendo sul foglio di carta lo rendano atto, come altri corpi, ad emettere raggi di Röntgen: in tal caso i disegni metallici lascerebbero la loro ombra sulla pellicola, perchè non darebbero luogo al passaggio di tali raggi. E si potrebbe anche pensare che manchi ogni impressione sulla pellicola rivolta alle pareti laterali e fluorescenti del tubo, perchè i raggi catodici colpiscono con maggior violenza la carta che la parete di vetro più lontana dal catodo; inoltre, mentre la carta è ad immediato contatto con la pellicola, la parete di vetro ne è ben più distante.

Il chiaro fisico che si era fatte tutte queste difficoltà, si è studiato di chiarirle con le seguenti acconcie esperienze.

Egli ha fissato sulla carta nera fili di ferro, di rame, di vetro, di varia grossezza; siccome il vetro dovrebbe, come la carta, emettere i raggi di Röntgen quando fosse colpito dai raggi catodici, così le impressioni dei detti fili dovrebbero essere più forti; invece si ottennero sempre sulla pellicola ombre ben nitide dei fili di vetro, quantunque meno forti di quelle corrispondenti ai fili di ferro o di rame.

Per mettere poi in condizioni presso a poco identiche la pellicola rivolta ai raggi catodici e quella rivolta alla parete fluorescente di vetro, il Battelli adoperava l' apparecchio rappresentato dalla fig. 133. Il tubo T che contiene la pellicola interna è saldato nella regione anticatodica ad un secondo tubo T': prossimamente alla saldatura sono i due cannelli C e C', col mezzo dei quali si introducono nei tubi i due cilindri, su cui sono avvolte pellicole fotografiche uguali. Per mezzo d' un terzo cannello C'', l' apparecchio è fatto comunicare colla pompa pneumatica; e siccome C immette in C'', così vien fatta nei due tubi la medesima rarefazione. Con questa disposizione le due pellicole si trovano in condizioni molto vi-

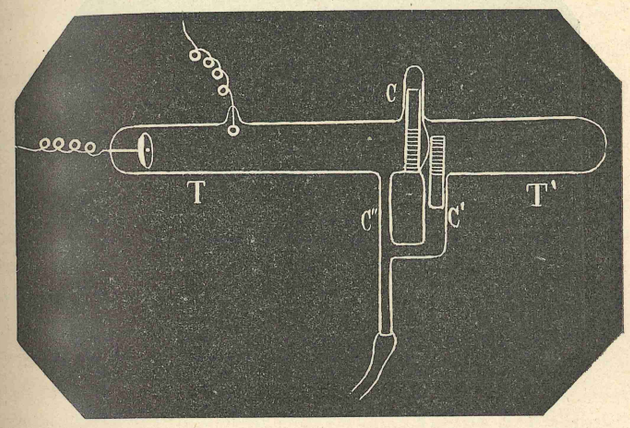


Fig. 133.

cine. A pressioni superiori a $^1/_{50}$ di mm. di mercurio, soltanto la pellicola interna è impressionata: la posa era sempre breve nel fine di potere facilmente distinguere fra le due impressioni fotografiche. Tra $^1/_{100}$ e $^1/_{200}$ di mm. v' ha un impressione sulle due pellicole, ma quella sulla pellicola interna è assai più forte. La conseguenza di questo esperimento è che l'azione fotografica nell'interno del tubo è energica, allorchè l'emissione esterna dei raggi X è quasi nulla.

Era importante determinare il grado di vuoto col quale si può ottenere un' azione fotografica nell' interno

del tubo, senza che i raggi catodici propriamente detti appaiano. Ora il Battelli ha constatato che si ottiene una impressione abbastanza netta con una pressione interna di $^3/_{10}$ mm.; il tubo in tal caso è pieno di un fiocco bianco violaceo che fa capo ai due elettrodi, dove di tratto in tratto compaiono delle piccole scintille. Comparando le ombre delle differenti pellicole, ottenute con lo stesso tempo di posa e una medesima velocità di rotazione della macchina Wimshurst, ma con differenti pressioni, si trova

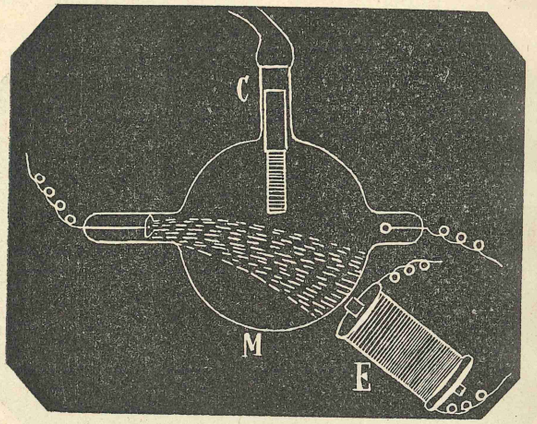


Fig. 134.

che l'azione fotografica aumenta con la rarefazione, dapprincipio rapidamente, poi più lentamente.

Con $^2/_{100}$ di mm. di pressione, mentre la pellicola interna si annerisce, la pellicola esterna rimane intatta, sebbene essa sia a contatto della parete anticatodica e la posa sia stata prolungata oltre tre ore.

A dimostrare poi che v'ha nel tubo dei raggi attivi che non sono punto deviati dalla calamita, il Battelli costruiva un tubo a forma di sfera (fig. 134), in cui il catodo e l'anodo eran collocati entro due tubi situati secondo uno stesso diametro della sfera: la pellicola fotografica avvolta nel solito cilindro e difesa da carta nera, era introdotta

nella sfera per il cannello C della calotta superiore. Per mezzo d'una potente elettrocalamita E posta dinanzi alla calotta inferiore, si deviavano fortemente i raggi catodici, in modo che l'occhio li vedesse sfiorare il bordo inferiore della pellicola sensibile. Le prove eseguite diedero tutte una impressione forte della pellicola sulla faccia rivolta al catodo, una impressione meno forte sulla parte rivolta alla macchia fluorescente destata dai raggi catodici, e nessuna impressione sul resto. Si deve quindi concludere che i raggi atti a produrre nell'interno del tubo azioni fotografiche non sono, in parte almeno, deviati dal magnete; e oltre l'esistenza di tali raggi, si vede che ve n'ha altri rinviati dalla parete del vetro.

Ma parte dei raggi attivi vengono invece deviati dalla calamita, come si prova introducendo in un tubo simile a quello della fig. 134 un cilindro sensibile che occupi tutta l'altezza della sfera da C a D, ed applicando l'elettrocalamita al luogo di prima. Le pellicole sviluppate mostrano in tal caso che l'azione fotografica è molto più intensa verso il basso, vale a dire là dove agiscono i raggi deviati dalla calamita, sia davanti al catodo, sia davanti alla macchia fluorescente. Evidentemente si dovrebbe avere un effetto minore lungo ciascuna generatrice del cilindro, se la elettrocalamita non esercitasse alcuna deviazione sui raggi attivi.

Dall'insieme di queste belle esperienze si desume, che nell'interno dei tubi rarefatti si ottiene un'azione fotografica di fronte al catodo, anche a pressioni relativamente alte, quando cioè il tubo non esercita all'esterno alcuna azione fotografica, e quando non si osservano le proprietà caratteristiche dei raggi catodici propriamente detti.

Fra i raggi attivi, una parte viene deviata dalla calamita ed un'altra non lo è punto; onde il Battelli è indotto a pensare che " i raggi di Röntgen esistono già nell'interno del tubo come vi esistono già i raggi studiati da Lénard. I primi passerebbero più facilmente dei secondi attraverso le pareti, e per conseguenza uscirebbero soli

dal tubo attraverso a pareti di vetro poco spesse „. Secondo lo stesso autore, tutto ciò non contraddirebbe punto le altre esperienze che abbiamo riferite (§ 51), dirette a provare che i raggi di Röntgen hanno apparentemente origine là dove un ostacolo materiale è colpito dalla radiazione catodica, poichè si può supporre che l'ostacolo agisca sui detti raggi filtrandoli e diffondendoli in tutte le direzioni.

Con un metodo perfettamente analogo a questo ora ricordato, lo stesso Battelli in unione al Garbasso studiò la

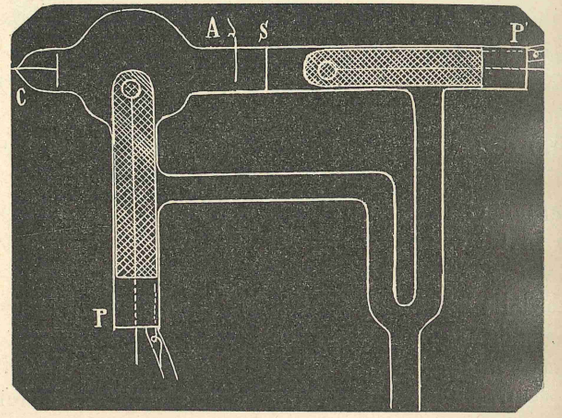


Fig. 135.

dispersione delle cariche elettrostatiche operata dai raggi nell'interno del tubo. L'apparecchio è rappresentato dalla fig. 135. A sinistra è una sfera di vetro, nella quale il dischetto di alluminio C funziona da catodo: A è l'anodo. Entro la medesima sfera si trova una pallina di ottone difesa da una reticella metallica: essa costituisce il conduttore elettrizzato, del quale si vuole osservare la dispersione della carica. La reticella, comunicante per mezzo di un sottil filo metallico col suolo, serve a difendere la sfera dalle azioni elettrostatiche. Di fronte al catodo poi la sfera si allunga in un tubo che contiene una seconda pallina P', difesa pure da una reticella, come l'altra.

Il tubo orizzontale è diviso in due parti da un setto di vetro S; cosicchè mentre gli ordinari raggi catodici possono colpire il primo conduttore attraversando le maglie della reticella metallica, i soli raggi del Röntgen possono arrivare al secondo. E poichè la pressione del mezzo influisce sulla velocità della dispersione, affinchè il comportamento delle due palline fosse paragonabile, con la disposizione indicata dalla figura, si stabiliva un egual grado di vuoto nelle due parti separate dal setto di vetro. Le chiusure in P e P' erano fatte con un mastice isolante. Con questo apparecchio si può studiare la dispersione prodotta dai raggi del Röntgen, ovvero quella prodotta dai raggi catodici; e, deviando questi ultimi con un magnete, si può studiare l'azione di quei raggi catodici che non si deformano nel campo magnetico. È bene osservare che in tutti questi esperimenti, la carica delle sferette era sempre negativa.

Con questo apparecchio i due fisici osservarono anzitutto che l'azione elettrica, come quella fotografica, si può ottenere con rarefazioni non molto grandi, e quindi con raggi catodici appena incipienti, quando cioè non passano attraverso al setto S sensibilmente raggi di Röntgen.

Spingendo il vuoto più innanzi, finchè i raggi catodici si sviluppassero nettamente, e deviando parzialmente il fascio dei raggi attivi, si osservava che il tempo della scarica era prossimamente lo stesso; il che porta a concludere che la maggior parte dei raggi attivi non si deforma per nulla nel campo magnetico. Sino a questo punto i raggi di Röntgen non facevano ancora la loro comparsa, perchè la seconda sferetta, quella posta dopo il setto S, non subiva alcuna perturbazione nella sua carica. Si faceva di nuovo agire la pompa, si riduceva la rarefazione finche i raggi catodici fossero nettamente spiegati, e il vetro fosse nei punti colpiti reso fluorescente, e la dispersione della carica avvenisse quasi istantaneamente per la sferetta interna: facendo allora agire il magnete, mentre la macchia fluorescente appariva deviata fortemente, la ca-

duta del potenziale invece si faceva con la stessa rapidità; la qual cosa vuol dire che i raggi non deviati sono già, a questo grado di rarefazione, in grande copia. Soltanto a questo momento la pallina esterna cominciava a sentire debolmente l'azione dei raggi del Röntgen.

Riassumendo, finchè il tubo ha l'aspetto dei tubi di Geissler, v'ha dispersione, ma non rapida: progredendo nella rarefazione, gli effetti diventano più distinti, e quando cominciano a svolgersi raggi catodici la dispersione diventa rapida; il magnete allora la rallenta un poco, vale a dire i raggi deviabili concorrono notevolmente nel fenomeno. Ma a rarefazioni più spinte, mentre il magnete esercita una cospicua azione sui raggi catodici atti a destare la fluorescenza, non ne esercita che una debole su quelli che esercitano la dispersione; ciò vuol dire che i raggi non deformabili sono già in prevalenza sugli altri. All'esterno poi non si hanno effetti sensibili, finchè il tubo non è portato nell'ultimo stadio, nel quale cominciano a manifestarsi i raggi del Röntgen.

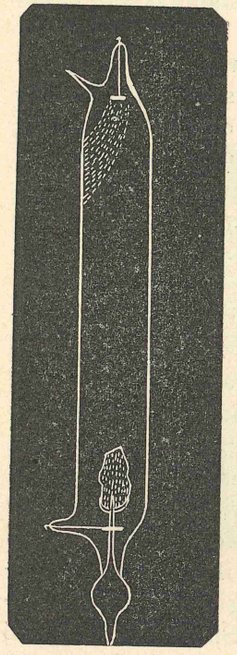


Fig. 136.

Delle due specie di raggi, vale a dire quelli che si deformano, e gli altri che non si deformano punto, sono i primi quelli che eccitano più intensamente la fluorescenza del vetro; però anche quelli non deviati possono dare effetti di luminescenza. Per poterli osservare, i due fisici si servirono di un tubo come quello della fig. 136: ad un estremo è fisso il catodo, e all'altro si trova un pezzo di corallo calcinato, che mentre alla luce ordinaria è biancacastro, nei tubi di scarica presenta chiazze cerulee o rosate molto vive. Spingendo il vuoto a tal punto che le luminosità diffuse fossero

scomparse del tutto, si osservava pur sempre una lieve luminescenza del corallo, nonostante l'azione di un magnete molto potente posto a fianco e assai vicino al catodo, in modo che la macchia fluorescente del vetro si formasse lungi dal corallo.

Si potrebbe però pensare che la luminescenza del corallo in questo esperimento, e l'azione fotografica ed elettrica delle esperienze descritte innanzi, fossero dovute ai raggi X eccitati sulle pareti del vetro dai raggi catodici.

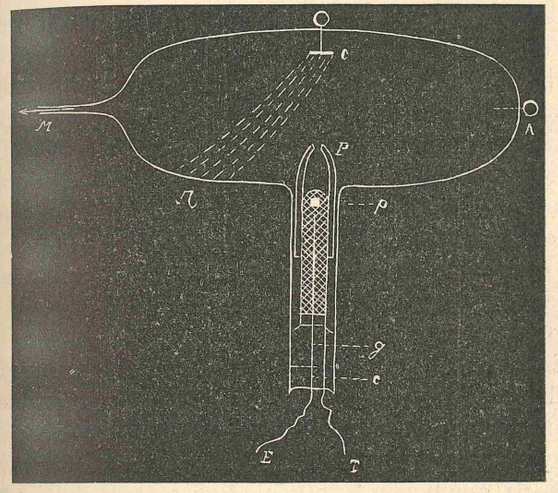


Fig. 137.

Per togliere ogni dubbio sull'esistenza di raggi catodici che rimangono indeviati sotto l'azione del magnete, essi adoperarono il tubo della fig. 137, col quale fecero i nuovi esperimenti sull'azione dei raggi catodici sopra conduttori isolati. Di fronte al dischetto di alluminio *C* che funziona da catodo, v'ha un tubo laterale, largo 4 cm. circa e lungo 15 cm., nel quale è disposto il conduttore che si vuole studiare. Questo consisteva in una pallina *p* portata da un'assicella di ottone, comunicante per mezzo del filo *E* con la sferetta di un elettroscopio a foglie d'oro: una re-

ticella messa in buona comunicazione con la terra serve a difenderla dalle azioni elettrostatiche. La reticella comunica anche con un pezzo di piombo *P*, che ha in alto un foro di ½ cm. di diametro: questo è destinato a proteggere il conduttore *p* dai raggi del Röntgen che si potrebbero eccitare in *R*, dove va a battere la radiazione catodica deviata da un magnete. Il tubetto *M* conduce alla pompa, e l'anodo *A* è da una parte.

Spingendo il vuoto finchè la traccia dei raggi catodici sia appena visibile nell' interno come una pallida nebbia, che è la condizione da soddisfare per il regolare andamento di questa esperienza, e dando a *p* una carica negativa in modo che le foglie dell'elettroscopio siano ben divergenti, queste ricadono subito per una sola apertura del circuito primario del rocchetto, quando *C* funziona da catodo. Gli stessi fisici constatarono poi che, senza più caricare *p*, dopo cinque o sei aperture della corrente del rocchetto, le foglie dell' elettroscopio tornavano a divergere, ma stavolta per elettricità positiva; e la stessa cosa succedeva, anche deviando i raggi nella posizione *R* per mezzo di un magnete.

Sembra pertanto indubbia l'esistenza di raggi indeformabili partenti dal catodo e dotati delle proprietà della luce ultravioletta. Ma poichè da questi ultimi raggi le cariche positive non vengono alterate, è necessario tenerli distinti da quelli del Röntgen. Nell' ipotesi della materia radiante (v. Cap. seg.), bisognerà considerare questi ultimi come getti di particelle diselettrizzate, e gli altri come getti di particelle cariche dotate di velocità relativamente grandi.

§ 83. **Azione meccanica de' raggi X.** — Diremo ancora poche parole intorno ad una pretesa azione meccanica emanante dai tubi di Crookes eccitati: Gossart e Chevalièr hanno osservato che in vicinanza d'un tubo di Crookes un radiometro, messo in movimento da una sorgente qualunque di calore, finisce per fermarsi davanti il tubo con una orientazione ben fissa, dopo di avere eseguito delle oscillazioni pendolari.

Gli autori suddetti avevano attribuito l'effetto ad un'azione meccanica emanante dal tubo; ma A. Fontana e A. Umani, contrariamente alle conclusioni precedenti, hanno constatato che l' azione meccanica è dovuta a cariche di elettricità statica e non punto ai raggi di Röntgen. La stessa spiegazione diedero I. R. Rydberg e Righi. Fontana e Umani hanno difatti riprodotto il medesimo fenomeno senza tubo di Crookes, ma col solo mezzo d'una bottiglia di Leida: inoltre hanno fatto osservare che l' effetto suddetto svanisce, quando si chiude il tubo di Crookes o il radiametro in una gabbia metallica messa in comunicazione con il suolo. Studiando di più l'azione dei diversi diaframmi, hanno constatato che la permeabilità loro pei raggi X non ha alcuna influenza, e che i diaframmi buoni conduttori in comunicazione con la terra arrestavano l' azione meccanica, mentre al contrario i dielettrici non l' arrestavano punto.

BIBLIOGRAFIA.

O. Lodge, *Les Hypotheses actuelles sur la nature des rayons de Röntgen* (*Ecl. élect.* t. VI, p. 311).
O. Murani, luogo citato.
A. Lafay, *Sur un moyen de communiquer aux rayons de Röntgen la proprieté d'etre deviés par l'aimant* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 713).
— *Sur les rayons de Röntgen électrisés* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 809-929.
A. Sella e Q. Majorana, *Rend. della R. Acc. de' Lincei* (seduta 1 marzo 1896).
A. Battelli e A. Garbasso, *Raggi catodici e raggi X* (*N. Cimento*, serie 4.ª, v. III; maggio 1896).
A. Battelli, *Ricerche sulle azioni fotografiche nell'interno de' tubi di scarica* (*N. Cimento*, serie 4.ª, v. III; aprile 1896).
— *Journal de Physique*, 1896, p. 310.
Poincaré e G. De-Metz, *Photographie à l'intérieur du tube de Crookes* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 880).
A. Battelli e A. Garbasso, *Azione de' raggi catodici sopra i conduttori isolati* (*N. Cimento*, serie 4.ª, vol. IV; settembre 1896).
Gossart e Chevalier, *Sur une action mécanique émanant des tubes de Crookes, analogue à l'action photogénicque découverte par Röntgen* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 315.)
A. Fontana ed A. Umani, *Rend. della R. Acc. dé' Lincei*, 1.° marzo 1896.
J. R. Rydberg, *Sur l'action mécanicque émanant des tubes de Crookes* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 715).
A. Righi, luogo citato.

CAPITOLO VIII.

NATURA DEI RAGGI X.

§ 84. **Natura de' raggi catodici.** — Dalle esperienze che abbiamo descritto, sembra potersi dedurre con certezza che i raggi catodici nel mentre godono l'ufficio di eccitare i raggi X, possiedono però delle proprietà ben distinte da questi.

Ricorderemo che tre ipotesi furono fatte per spiegare la natura dei raggi catodici: la prima è che essi consistano in un bombardamento di particelle elettrizzate proiettate con grande velocità dal catodo, è l'ipotesi materialista di Crookes; la seconda è che essi consistano invece in vibrazioni trasversali dell' etere, simili a quelle della luce, è l'idea sostenuta specialmente da eminenti fisici tedeschi come Goldstein, Wiedemann, Hertz e Lenard, ecc.; la terza finalmente suppone che essi siano dovuti ad onde longitudinali, è l'idea di Jaumann.

È d' uopo riconoscere che la ipotesi di Crookes, nel mentre rende conto di tutti i fenomeni osservati nel tubo, ha un carattere di precisione che manca alle altre ipotesi; e bisogna ammettere che parecchie obbiezioni mosse a questa teoria si appoggiavano al fatto, che i raggi catodici, sui quali unicamente si credeva di esperimentare, erano in realtà una mescolanza di raggi catodici e di raggi X. Così, per esempio, Lenard nella sua esperienza diretta ad osservare la deviazione dei raggi catodici usciti nell' aria sotto l'influenza di una calamita, di cui il risultato è rap-

presentato dalla fig. 71, non vide che una differenza più o meno pronunciata della diffusione e della deviazione di raggi della medesima specie, ma corrispondenti a lunghezze d'onde diverse. Egli non sospettò che la macchia centrale non deviata potesse essere dovuta ad una specie di raggi diversi da quelli catodici: e così dopo essersi servito di raggi X a produrre la fluorescenza, a impressionare le lastre attraverso a corpi opachi, ecc., lasciò a Röntgen l'onore della loro scoperta.

Hertz aveva concluso dalle sue esperienze sull'azione elettromagnetica (§ 36), che la scarica nel tubo non avviene secondo i raggi catodici; bisogna modificare questa conclusione dicendo, che i raggi suddetti dissipano una piccola parte soltanto della carica del catodo; ed allora si potrà bene conciliare il risultato negativo di Hertz con le esperienze positive del Perrin (§ 43). Difatti la carica relativamente considerevole dei ioni liberi permette di supporre, che con la elettricità trasportata dalle particelle materiali che costituiscono i raggi, è impegnata una quantità di materia estremamente piccola. Si potrebbe obbiettare alle conclusioni del Perrin, che le cariche da lui osservate siano dovute ad un'azione elettrica dei raggi X medesimi, e non alle cariche delle particelle che, secondo la teoria materialista, costituiscono i raggi catodici; ma in tal caso non si spiegherebbe l'assenza di ogni carica, quando con una calamita si deviano i raggi catodici, e si impedisce loro d'entrare nel cilindro di Faraday.

La considerevole velocità poi dei raggi catodici (§ 40) trova la sua ragione, secondo J. J. Thomson, nel fatto che forze considerevoli agiscono in vicinanza del catodo. D'altronde è sufficientemente stabilito che i gas possono essere separati nei loro ioni (§ 19), anche sotto la sola azione della luce ultravioletta.

Pertanto, accogliendo questo modo di vedere, sono gli atomi liberi e non le molecole che si muovono nel tubo: la teoria cinetica dei gas non tien conto di questo fatto, e però dal momento che si sostituisce l'atomo alla molecola, non regge l'obbiezione di Goldstein, basata sul fatto che i raggi catodici si propagano ad una distanza molto maggiore di quella assegnata dal calcolo (§ 36).

Il medesimo fatto, secondo Guillaume, spiega la facilità con la quale i raggi catodici attraversano i corpi solidi; e la proporzionalità scoperta da Lenard tra l'estinzione e la massa attraversata, senza azione selettiva, sarebbe una conseguenza dell'ipotesi meccanica.

In un elettrolito liquido i ioni attraversano, senza resistenza apprezzabile, foglie sottili di metallo; in questo caso la teoria materialista non può essere messa in dubbio: si potrà allora pensare che i ioni provenienti dalle molecole gassose possiedano le medesime proprietà.

Ricordando che gli atomi in movimento, i quali formano i raggi catodici, sono prossimamente animati da una velocità di 300 Km. per secondo (§ 39), non si troverà più straordinario il fatto che essi attraversino una foglia di metallo impermeabile alle molecole, le quali possiedono una velocità di gran lunga minore (§ 34), quella cioè che loro assegna la teoria cinetica.

La dissociazione poi del gas contenuto nel tubo può essere prodotta sia dalla luce ultravioletta che esiste nel tubo, sia dagli stessi raggi di Röntgen; inoltre, secondo queste idee, il tubo è isolante, vale a dire non dà passaggio alle scariche, finchè non contiene un numero sufficiente di ioni liberi.

§ 85. **Natura de' raggi X.** — Sulla natura dei raggi X furono ripetute le medesime ipotesi, fatte per quella dei raggi catodici. La teoria materialista del fenomeno è sostenuta in Italia, fra gli altri, dai proff. Battelli e Garbasso, i quali, nella loro prima memoria sui raggi del Röntgen, basandosi specialmente sul fatto che tali raggi si riflettono e non si rifrangono, concludono che non si tratti di ondulazioni, di qualunque specie esse siano, ma piuttosto di proiezioni di particelle esilissime, che si muovono con grande velocità, e sono capaci di attraversare gli spazi intermolecolari dei corpi, alla stessa guisa che

una manata di polvere lanciata contro una rete tesa ne attraversa le maglie.

Anche il Tesla, che i suoi lavori sulle correnti ad alta frequenza hanno reso celebre, riprende la teoria del bombardamento molecolare di Crookes, e applicandola in parte ai raggi X così si esprime: " È poco dubbio oggi che una corrente catodica in un tubo sia composta di piccole particelle di materia lanciate dall'elettrodo con grande velocità.

" Siffatta velocità giustifica pienamente gli effetti meccanici e calorifici prodotti dal fascio, contro la parete del tubo o dell'ostacolo che essi colpiscono. È d'altra parte riconosciuto che le particelle materiali proiettate agiscono come dei corpi non elastici, come innumerevoli proiettili infinitamente piccoli. Si può mostrare che la velocità della corrente può raggiungere 100 km. al secondo, ed anche più. La materia che si muove con una tale velocità deve certamente penetrare molto addentro negli ostacoli che essa incontra, se le leggi della meccanica sono applicabili alla corrente catodica.

" La materia che compone la corrente catodica è ridotta ad una forza fin qui sconosciuta, imperocchè tali velocità e tali urti così violenti probabilmente non sono stati mai studiati, e neppure realizzati prima della osservazione di cosiffatte straordinarie manifestazioni. Il punto importante, segnalato sino dal principio da Röntgen e confermato dalle successive ricerche, vale a dire che un corpo è tanto più opaco ai raggi quanto esso è più denso, non si saprebbe spiegare in modo più soddisfacente che con la teoria, la quale considera questi raggi come correnti di materia.

" Tale relazione tra l'opacità e la densità è di grande importanza per quanto concerne la natura dei raggi, perciocchè essa non esiste per le vibrazioni luminose e non dovrebbe quindi trovarsi, a un grado così notevole, e in tutte le condizioni, per vibrazioni simili a quelle luminose e di frequenza presso a poco uguali. »

O. Lodge ha modificato alquanto la ipotesi materialista, ammettendo possibile una specie di pulsazione analoga al suono, la quale verrebbe propagata, con scambi di energia, in una sola direzione da particelle non elettrizzate; il movimento si trasmetterebbe come in una catena di Grotthus, per semplice urto materiale. In principio egli pensava che le particelle, che si scambiano il moto, potessero essere elettrizzate; ma in seguito, avendo con le proprie esperienze confermato quelle del prof. Röntgen, vale a dire che i raggi X non sono deviati da un campo magnetico, abbandonò l'idea delle particelle elettrizzate, ma ritenne possibile un semplice flusso molecolare non elettrizzato.

La mancanza di rifrazione, di polarizzazione, la rapida diffusione dei raggi nel mezzo ambiente, trovano in questa teoria una facile spiegazione, perchè non si tratta più di onde eteree.

La difficoltà maggiore si incontra, con questa ipotesi, nello spiegare le attitudini ad eccitare la flüorescenza e ad impressionore le lastre sensibili: tali effetti dovrebbero essere prodotti dal cozzo delle particelle proiettate con la superficie fluorescente, o con la pellicola sensibile; e bisognerebbe a tal fine ammettere che gli urti avvenissero con una frequenza ritmica, paragonabile a quella che corrisponde alle oscillazioni delle onde luminose più corte.

Ricordiamo ora che Lenard trovò nelle radiazioni da lui studiate, due diverse specie di raggi, secondo la loro maggiore o minore sensibilità all'azione di una calamita (§ 42). Quando il mezzo nel quale si propagano è torbido, si produce un'aureola, e l'esperienza non è punto netta; ma in un vuoto sufficiente la deviazione è ben distinta: l'aureola viene più fortemente deviata che la parte centrale, e si disperde in una specie di spettro magnetico.

Una variazione di pressione del gas non cangia punto la deviazione della macchia centrale; essa non affetta che la posizione dell'aureola deviata o la diffusione dovuta alla presenza delle particelle materiali: la macchia centrale

inalterabile, secondo Lenard, dovrebbe essere qualche cosa di etereo.

Ma come si spiegherebbe allora la deviazione in un campo magnetico? Le onde luminose non subiscono tale influenza. Lenard spiega la cosa ammettendo non un'azione diretta della forza, ma una modificazione nell'etere prodotta dalla calamita; in altri termini egli pensa che il raggio non è punto forzato o deformato, ma soltanto deviato da una torsione dell'etere.

Lodge invece, riflettendo alla circostanza che ciò che influiva sulla grandezza della deviazione, negli esperimenti di Lenard, era soltanto la variazione di densità del gas contenuto nel tubo generatore, opina che le particelle elettrizzate proiettate dal catodo, abbandonassero la maggior parte della loro carica nell'incontrare la parete di alluminio; onde nel propagarsi fuori del tubo esse dovevano essere poco elettrizzate, e qualcuna forse non lo era punto. Lenard non avrebbe osservato che le prime, quelle cioè che ritennero una piccola carica, e quindi poterono essere deviate. Secondo il fisico inglese è probabile che i raggi scoperti da Röntgen, i quali non subiscono alcuna deviazione, sono quei raggi di Lenard che non possiedono più tracce di elettrizzazione.

Qualunque sia la verità, non sembra che i raggi X possano confondersi con i raggi catodici, poichè sebbene essi abbiano in comune con questi ultimi la proprietà di propagarsi in linea retta, di destare la fluorescenza di molte sostanze, di impressionare le lastre sensibili, di riflettersi e diffondersi debolmente, di attraversare corpi opachi per la luce, non possono però attraversare le pareti di vetro del tubo, e non possono quindi propagarsi all'esterno.

Di più i raggi X non ubbidiscono, come si è detto, ad un campo magnetico al pari dei raggi catodici; è vero che questa distinzione non è assoluta, perchè come prima Goldstein, così anche ultimamente i due fisici di Pisa, più volte ricordati, trovarono che la radiazione catodica non è omogenea, e che nell'interno del tubo vi sono raggi

che non risentono l'azione di un campo magnetico, sebbene dotati d'azione fotografica, luminescente, ecc. Ciò può dipendere dall'essere le particelle che li formano, poco o punto elettrizzate; ad ogni modo, questi raggi che dentro il tubo non risentono l'azione del campo magnetico differiscono dai raggi X, poichè essi, come la luce ultravioletta, sono atti a scaricare soltanto i corpi elettrizzati negativamente.

Se non sono raggi catodici, possono i raggi X essere raggi ultravioletti? raggi ultravioletti conosciuti no, perchè sebbene abbiano con questi comuni le proprietà di propagarsi in linea retta, di destare la fluorescenza, di agire sulle lastre sensibili, ecc., non si rifrangono però, nè interferiscono, nè si polarizzano. E poi mentre i raggi ultravioletti conosciuti scaricano soltanto i corpi elettrizzati negativamente, quelli del Röntgen hanno la stessa azione dispersiva sui corpi caricati sia positivamente, sia negativamente.

Ma se i raggi X non consistono in un bombardamento di tenuissime particelle, e non sono nè raggi catodici, nè raggi ultravioletti, che sono dunque essi? Questo problema affatica dalla loro scoperta la mente dei fisici, e non pare che la soluzione sia prossima.

Il Röntgen, che prima di ogni altro conobbe e potè famigliarizzarsi con i nuovi raggi, riscontrando una certa relazione fra essi e le radiazioni luminose, almeno per quanto riguarda la propagazione rettilinea, la fluorescenza, e le azioni chimiche, si sentì inclinato a credere che siano dovuti a vibrazioni dell'etere, ma non a vibrazioni trasversali come quelle che costituiscono le radiazioni conosciute, calorifiche, luminose, attiniche e le hertziane; sibbene a vibrazioni longitudinali, ossia a radiazioni sonore dell'etere stesso (§ 44). La probabilità dell'esistenza di queste radiazioni nell'etere fu dimostrata da lord Kelvin e da Boltzmann, ma pochi hanno in questo ordine di idee seguito il fisico di Würzbourg.

I suoni consistono certamente in vibrazioni longitudinali dell'aria, ma si rifrangono e interferiscono; d'altronde

le ondulazioni longitudinali, stando alle deduzioni di lord Kelvin sarebbero evanescenti, dovrebbero cioè trasformarsi prontamente in calore. Ora effetti di calore si possono ottenere dal fascio catodico, ma punto dai raggi Röntgen; e inoltre come spiegare le attitudini comuni delle due specie di radiazioni, a destare la fluorescenza e a produrre azioni chimiche?

I soli fenomeni che si suppone sian dovuti a sforzi longitudinali nell' etere, sono quelli della gravitazione e della coesione. Newton stesso pensò che una tensione o pressione dell' etere spiegherebbe la gravitazione. Ma in questo ordine di idee tutto è oscuro, ed è difficile supporre che l'etere sia realmente comprimibile. Non è necessario di supporlo tale per spiegare la gravitazione e la coesione, ma lo dovrebbe essere per trasmettere con una velocità finita una perturbazione periodica che affetti gli atomi. Ammessa pure una debole comprimibilità, vediamo quali circostanze possano in un tubo ben rarefatto dar luogo a onde longitudinali. Nel tubo v' ha un violento torrente d'atomi che colpiscono il vetro, e Lodge calcola che ciascun punto del vetro debba in tali condizioni sopportare un centomila urti per ciascun centimetro di lunghezza del flusso che riceve. Ora la velocità dei raggi catodici è stata misurata direttamente da J. J. Thomson, come abbiamo veduto (§ 39), e pare comparabile a 1.10^7 cm. per secondo; dunque il vetro sarà colpito in media 1 bilione di volte per secondo: si intende che a questi numeri bisogna attribuire un valore relativo, poichè il calcolo non può essere che una media molto larga.

La frequenza delle vibrazioni luminose sarebbe dunque raggiunta, ma niente di certo potrebbe dirsi riguardo alla lunghezza e velocità di simili ipotetiche onde nell'etere, finchè esperienze di interferenza e di diffrazione non fossero effettuate. In mancanza di queste, il solo modo di avere qualche dato in proposito è quello di osservare la nettezza dei contorni delle ombre, e lo spessore del mezzo completamente opaco.

Più l'onda è lunga, più i corpi saranno trasparenti, perchè l'ammorzamento delle vibrazioni segue una legge logaritmica, la quale esige, affinchè l'ammorzamento sia notevole, un certo numero di periodi.

Se si prende una sorgente ridotta a un punto, e si studia l'ombra di un oggetto che si trovi ad una moderata distanza dallo schermo o dalla lastra sensibile, non si otterrà alcuna ombra netta, quando la grandezza dell'oggetto è comparabile ad una lunghezza d'onda; ovvero, quando l'oggetto di grandi dimensioni, è lontano dalla lastra di molte lunghezze d'onda.

Si sa difatti dalla teoria delle ondulazioni che le ombre si formano per interferenza.

Ciò che ha suggerito a Röntgen l'idea delle onde longitudinali è il fatto che le proprietà cristalline dei corpi non hanno alcuna sensibile importanza sulla propagazione dei raggi, vale a dire che lo spato d'Islanda o il quarzo sono egualmente trasparenti od opachi in tutte le direzioni. L' esperienze che abbiamo ricordato di Becquerel, Sagnac (§ 50), le quali mostrano che un paio di tormaline sovrapposte sono trasparenti egualmente sia con gli assi incrociati che con gli assi paralleli, confermano la poca importanza suddetta delle proprietà cristalline. Questo fatto della mancanza di una qualunque polarizzazione, se si ammette la natura ondulatoria del fenomeno, sta contro la ipotesi delle onde trasversali, ed è favorevole a quella delle onde longitudinali.

Un altro fatto che milita in favore dell' ipotesi del Röntgen è questo, che i raggi X sono più affettati dalla gravità specifica che da ogni altra proprietà della materia. Che questa sia cristallizzata o no, in masse compatte o in polvere, ecc., agisce sempre allo stesso modo su tali onde ipotetiche, come per rapporto alla gravità.

Ma nonostante queste considerazioni, sebbene, a dir vero, nulla si opponga alla possibile esistenza di tali onde longitudinali nell'etere, tuttavia i fatti in suo favore sono ancora da trovare. A tali onde non si potrebbero attri-

buire che delle proprietà in concordanza con quelle dei raggi presi in esame, il che equivarrebbe ad una petizione di principio.

Una terza ipotesi è quella che consiste ad assimilare i raggi X a radiazioni analoghe a quelle della luce ordinaria, consistenti in vibrazioni trasversali dell'etere, ma di lunghezze d'onda brevissime, comparabili in grandezza con la dimensione degli atomi: i raggi X sarebbero cioè dei raggi iper-ultravioletti. I prof. Schuster, Fitzgerald e Raveau appoggiano questa ipotesi.

In favore di essa sono le azioni fotografiche e luminescenti, ed anche l'azione elettrica che hanno i raggi X di scaricare, come la luce ultravioletta, i corpi elettrizzati; a tale riguardo però è bene non dimenticare la differenza notevole nel modo d'azione delle due specie di energia, poichè i raggi ultravioletti scaricano, come si è detto, soltanto i corpi elettrizzati negativamente, mentre i raggi X scaricano tanto i corpi elettrizzati in più che quelli elettrizzati in meno.

Ma il maggiore argomento contro questa ipotesi riposa nell'assenza di rifrazione, e nella trasparenza sorprendente dei corpi considerati come i più opachi ad ogni movimento vibratorio.

Lo Schuster nota, a tale riguardo, che il numero delle molecole comprese in una di tali brevissime onde, potrà essere minore del numero delle particelle solide sospese nell'aria e contenute in un'onda sonora; e si sa che la velocità del suono non è notevolmente affettata dalla presenza di dette polveri. Non sembra quindi assurdo supporre che delle onde luminose, più piccole di quelle che noi conosciamo, possano attraversare i solidi con la medesima velocità con la quale essi attraversino il vuoto.

Inoltre sappiamo che le fasce di assorbimento nello spettro di parecchi corpi esercitano una grande influenza sull'indice di rifrazione nelle regioni vicine (§ 16); per modo che il valore di questo assume valori diversi da quelli che indicano le leggi ordinarie della rifrazione, secondo le quali l'indice dovrebbe crescer sempre, andando verso le piccole lunghezze d'onda. Ed anche abbiamo visto che per onde estremamente brevi i corpi devono essere sempre più trasparenti e nello stesso tempo l'indice deve tendere all'unità (§ 16.) E si è osservato che la trasparenza dei corpi per la luce è molto relativa; l'argento, per esempio, opaco per la luce ordinaria, è invece trasparente nell'ultravioletto. Le materie coloranti (§ 16) presentano una banda di assorbimento, nell'interno della quale esse sono opache, e sono al contrario trasparenti da una parte e dall'altra di essa.

Bisogna però anche notare che i raggi ultravioletti conosciuti si comportano in modo diverso. Schumman e Gifford che hanno esplorato lo spettro assai lungi nell'ultravioletto, hanno osservato che a mano a mano che ci si allontana dalla regione visibile, i raggi sono più rifrangibili e il minore ostacolo li arresta: basta un sottile strato di aria ad assorbirli. I raggi X al contrario non sembrano punto rifrangersi, e uno strato di aria di 2 o 3 metri non li assorbe completamente: bisogna dunque concludere che se essi sono di natura analoga a quella degli ultravioletti, devono essere molto più lontani di questi dalla regione visibile dello spettro; vale a dire essi devono corrispondere a un numero di vibrazioni per secondo molto maggiore, e devono quindi avere una lunghezza d'onda molto più breve, forse dell'ordine di grandezza delle molecole materiali: il che spiegherebbe come accada che i nuovi raggi non seguano punto le leggi della luce; perchè cioè non si rifrangano, non interferiscano e non si polarizzino.

Difatti la polarizzazione nei cristalli, la quale è connessa con la doppia rifrazione, non fa meraviglia che manchi, se manca la rifrazione stessa. Affinchè poi si producessero frangie d'interferenza, bisognerebbe che la radiazione fosse approssimativamente monocromatrica, e invece le esperienze sulla criptocrosi (§ 58), prova che i raggi X formano una radiazione complessa.

Ma con questa ipotesi, per dirla con il prof. Ferrini, " si immagina che le radiazioni catodica e di Röntgen consistano in una sorte di onde eteree affatto ipotetiche, alle quali si attribuiscono arbitrariamente le proprietà delle radiazioni spettrali più rifrangibili, il che val quanto riconoscere che differiscono grandemente tra loro pur essendo dotate delle medesime attitudini positive. L'addurre le radiazioni catodiche e di Röntgen come prova dell'esistenza di tali onde, non sarebbe una dimostrazione ma un circolo vizioso, mentre i caratteri che le differiscono dalle radiazioni conosciute, essendo negativi, non si prestano a sperimenti per riconoscerle „.

Come si vede la quistione è ardua assai; e al punto in cui si trova, il meglio che si possa fare è di attendere nuovi studi e nuovi esperimenti, che diano una soluzione netta, chiara e sufficientemente provata dell'interessante problema.

BIBLIOGRAFIA.

Ed. Guillaume, *Les rayons X*, p. 98.

A. Battelli e A. Garbasso, *Sopra i raggi del Röntgen* (*N. Cimento*, serie 4.ª, vol. III; gennaio 1896, p. 61).

N. Tesla, *Electrical Review*; 11 e 18 marzo 1896.

O. Lodge, *Ecl. elect.*, t. VI, pag. 302 e 311.

Lord Kelvin, *Ecl. elect.*, t. VI, p. 300.

Schuster et Fitzgerald, *Sur les rayons de Röntgen* (*Ecl. elect.*, t. VI, p. 299).

C. Raveau, *Les rayons de Röntgen et les rayons ultraviolets* (*Ecl. elect.*, t. VI, p. 249, 318).

Schumann et Gifford, *Applications scientifiques de la photographie par G. H. Niewenglowski*, p. 84, 399.

R. Ferrini, *La nuova radiazione*; Firenze, *Rassegna Nazionale*, 1896.

CAPITOLO IX.

DISPOSIZIONI SPERIMENTALI E APPLICAZIONI.

§ 86. **Modi diversi di eccitare i tubi di Crookes.** — Dopo aver detto delle proprietà e della probabile natura dei nuovi raggi, descriveremo brevemente il modo di disporre le esperienze per ottenere con essi impressioni fotografiche nette, o per osservare ombre di oggetti opachi su schermi fluorescenti.

Bisogna anzitutto disporre di una sorgente di elettricità capace di eccitare il tubo di Crookes. L'impiego di sorgenti a correnti continue e di rendimento relativamente grande, presenta dei vantaggi per gli studi teorici della propagazione della corrente nei gas rarefatti: Warren de la Rue e Ugo Müller, per le loro classiche ricerche sulle scariche nei gas più o meno rarefatti, impiegarono una pila di 14000 coppie al cloruro d'argento; ma, oltrechè una pila siffatta riuscirebbe incomoda e oltremai costosa, la differenza di potenziale sarebbe insufficiente per fornire scariche attraverso a tubi estremamente rarefatti. In tal caso, per realizzare la scarica elettrica e provocare la formazione dei raggi X col mezzo dei raggi catodici, è indispensabile d'impiegare correnti elettriche di altissima tensione e di debole intensità. Ora la maggior parte degli elettromotori primari, se si eccettuano le macchine elettrostatiche, forniscono l'energia elettrica sotto forma di correnti di grande intensità e di potenziale relativamente basso; bisogna dunque fare ricorso ad apparecchi inter-

mediari, detti *trasformatori,* i quali possano trasformare una corrente di piccola forza elettromotrice e di grande intensità in una corrente di alto potenziale e di debole intensità, e viceversa. Tale trasformazione non si effettua senza la perdita di energia: la differenza tra l'energia elettrica assorbita e l'energia restituita, misura il rendimento dell'apparecchio. La bobina di Ruhmkorff è appunto uno speciale trasformatore elettrico, col mezzo del quale una corrente di grande intensità e di debole forza elettro-

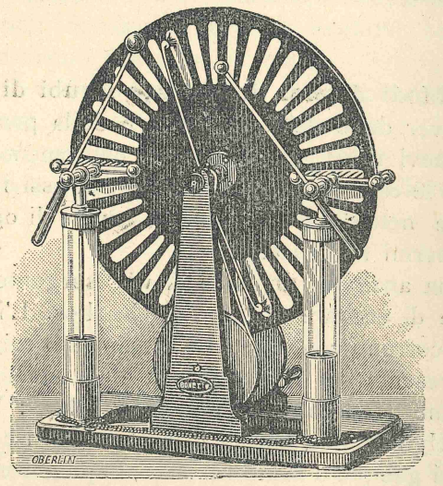


Fig. 138.

motrice dà luogo, ai termini del filo indotto, ad una elevata forza elettromotrice, capace di fornire lunghe scintille.

Si può anche eccitare il tubo con una macchina elettrostatica a influenza, come, per esempio, una macchina di Wimshurst (fig. 138); bisognerà allora per eccitare sufficientemente i tubi di Crookes, ed ottenere con essi delle belle fotografie, introdurre nel circuito esterno una scintilla addizionale di 1 cm. circa.

Accade però spesso che il tubo venga forato da qualche scintilla che scocchi fra gli elettrodi e i condut-

tori esterni, e di più questa maniera di eccitazione è poco comoda; cosicchè il miglior partito per ottenere le scariche di alte tensioni, necessarie ad eccitare i tubi, è quello detto dianzi di ricorrere ad una buona macchina o rocchetto di Ruhmkorff.

È noto che questa macchina consiste essenzialmente in un rocchetto fatto di filo piuttosto grosso, avvolto in non molte spire, lungo l'asse del quale si trova un fascio di fili di ferro dolce: un altro rocchetto di filo molto fine e assai lungo, che fa un grandissimo numero di giri, abbraccia il primo. Il rocchetto di filo grosso è detto *primario,* e passa per esso la corrente della pila; l'altro rocchetto è il *secondario.* Un interruttore opportuno finalmente chiude ed apre periodicamente il circuito primario; allora variando il flusso magnetico che attraversa il rocchetto, prendono origine nel secondario correnti indotte, in armonia alle note leggi dell'induzione elettromagnetica. La corrente indotta è inversa, di direzione cioè contraria alla corrente della pila, ad ogni chiusura del primario; ed è diretta ad ogni apertura.

Se si riuniscono i due estremi del filo indotto, che sono i poli della bobina, con un filo metallico, le correnti che lo percorrono sono alternative, come si può vedere intercalandovi un galvanometro.

Ora il calcolo dimostra, e le misure confermano, che la quantità di elettricità è la medesima nelle due correnti indotte; ma in grazia dell'induzione propria del sistema, la corrente di apertura ha una durata minore, e quindi la sua intensità e la sua forza elettromotrice riescono maggiori.

Ma se il circuito secondario della bobina comprende un intervallo a scintille sufficiente, ovvero un tubo rarefatto di conveniente resistenza, la corrente di chiusura è arrestata e passa solo quella di apertura. Succede così che la bobina possiede una polarità, e nel circuito esterno, attraverso la interruzione o attraverso al tubo rarefatto, passano soltanto le correnti indotte dirette, corrispondenti alle aperture del primario. In ogni caso poi la durata brevissima

delle correnti indotte all'aprire ed al chiudere del circuito primario fa sì che la corrente indotta raggiunga una grandissima tensione, paragonabile a quella delle macchine elettrostatiche; così alle estremità del filo indotto di un rocchetto si producono per un istante differenze di potenziale tanto elevate da dar luogo nell'aria a scintille di parecchi centimetri, laddove la forza elettromotrice della pila inserita nel circuito primario è di pochi volta.

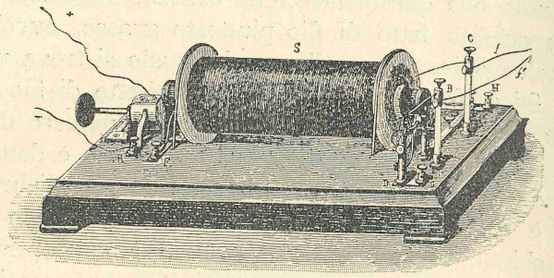


Fig. 139.

La fig. 139 mostra questa macchina nel suo insieme, mentre le fig. 140, 141 ne rappresentano rispettivamente la

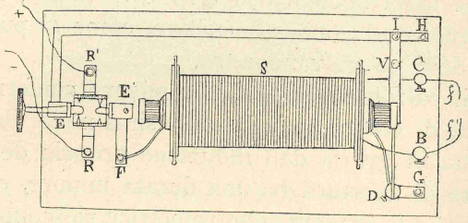


Fig. 140.

sezione longitudinale e trasversale. Si vedono il nucleo di ferro dolce, di forma cilindrica, costituito da un fascio di fili paralleli, e il primario che lo ricopre formato da un filo di grosso diametro, il quale è a sua volta abbracciato dal filo del rocchetto indotto, composto di parecchie migliaia di giri di un filo sottile bene isolato: le estremità di questo finiscono poi ai serrafili B e C, detti i poli della

macchina. Nel suo avvolgimento si procura che, mentre il potenziale va crescendo da un'estremità all'altra del filo, non si trovino giammai vicini due strati che siano ad una troppo grande differenza di potenziale. I reofori della pila vanno in RR' ad un commutatore (fig. 140) che permette o di stabilire le comunicazioni $R'E'$ ed RF, oppure $R'E$ ed RF', così da invertire a piacere la corrente nel rocchetto primario. L'induzione avviene per l'apertura e la chiusura della corrente primaria: tali interruzioni si fanno sovente col mezzo di un pezzo di ferro dolce O posto al disotto dell'estremità A del nucleo (fig. 141). Il martello OD, che fa da àncora rispetto al nucleo dei fili di ferro A, l'incudine e e i pezzi corrispondenti VI fanno parte del circuito primario. Se la corrente passa, il nucleo di ferro si calamita e solleva il martello: la corrente è allora interrotta, ma si ristabilisce appena, smagnetizzandosi il ferro, il martello ricada sull'incudine.

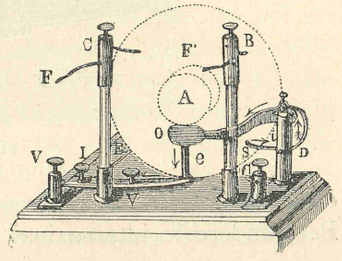


Fig. 141.

Così si ha una successione rapida di aperture e di chiusure, ciascuna delle quali suscita nel rocchetto secondario, la corrispondente corrente indotta.

Questo interruttore a martello ha però un difetto: il metallo brucia a causa della scintilla dovuta all'extra corrente nel momento dell'apertura, anche quando i contatti siano stabiliti fra pezzi di platino, e la lastra vibrante perde facilmente il suo ritmo.

Gaiffe per riparare all'inconveniente ha modificato questo interruttore facendo girare l'incudine e col mezzo di una piccola dinamo, posta in azione da una debole derivazione della corrente primaria (fig. 142). In tal modo il consumo è più regolare e le vibrazioni mantengono a lungo il loro periodo. La durata dell'interruzione però è sem-

pre prolungata dalla scintilla dovuta all' extra corrente, la quale scocca fra il martello e l'incudine, e in conseguenza

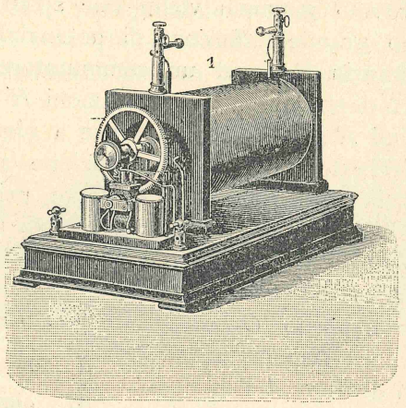


Fig. 142.

diminuisce la forza elettromotrice indotta dalla corrente. Per rendere le interruzioni più rapide si adopera l' inter-

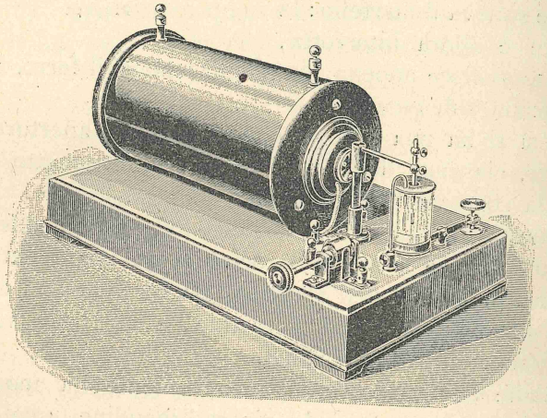


Fig. 143.

ruttore di Foucault, con il quale la chiusura e l'apertura avvengono per mezzo di una punta di platino che pesca nel mercurio (fig. 143), e col solito mezzo di un' àncora

di ferro dolce prende un movimento di va e vieni; bisogna in tal caso ricoprire il mercurio con un strato piuttosto spesso di alcool puro o di altro liquido coibente.

Con questo interruttore si può regolare la frequenza delle scariche per mezzo di un contrappeso, il quale vien fatto salire o scendere allo scopo di aumentare o diminuire il periodo di oscillazione della molla recante la punta di platino che pesca nel mercurio, e chiude e apre il circuito primario.

Siffatto interruttore è relativamente lento, molto meno rapido di quello a martello.

La durata della corrente indotta di apertura poi diminuisce ancor più, e con ciò aumenta la lunghezza delle scintille ottenibili, congiungendo le estremità dell'elica inducente con le armature di un condensatore, costituito da più fogli di stagnola alternati con fogli di carta paraffinata, e racchiuso nella base dell'istrumento. Al momento della rottura del circuito, la maggior parte del flusso elettrico, invece di superare l' interruzione tra l' incudine e il martello, va a caricare il condensatore, il quale poi si scarica sottoforma oscillante attraverso il filo primario. Nel momento della prima oscillazione la corrente è inversa a quella della pila ed accelera la smagnetizzazione del fascio dei fili di ferro, producendo una variazione del flusso magnetico attraverso le spire secondarie sensibilmente doppia. L' effetto di questo condensatore, che venne per la prima volta aggiunto da Fizeau, è massimo, quando la durata d'oscillazione è la stessa pei due circuiti primario e secondario.

Mercè tutti questi perfezionamenti si sono potute costrurre macchine di Ruhmkorff formidabili, che danno scintille di mezzo metro e più, le quali riuscirebbero certamente letali attraversando un corpo vivente.

I due serrafili $B\,C$ del circuito indotto possono riunirsi ad uno scaricatore $I\,H$: quando I ed H sono abbastanza vicini, le scintille accadono tanto alla chiusura che all'apertura; ma quando si allontanano progressivamente,

le scintille passano soltanto all' apertura. La bobina fornisce allora una corrente interrotta, sempre del medesimo senso, che può caricare una batteria. La stessa cosa succede riunendo i due poli cogli elettrodi di un tubo di Geissler.

Se i due serrafili B e C si fanno comunicare con le armature di un condensatore L (fig. 144), il quale aumenta la capacità dei fili, le scintille si accorciano, ma si fanno più risplendenti e rumorose. Nel caso di grandi bobine, una bottiglia di Leida non potrebbe sopportare l' enorme differenza di potenziale che si stabilisce fra i due poli, e però si impiegano più bottiglie disposte in cascata.

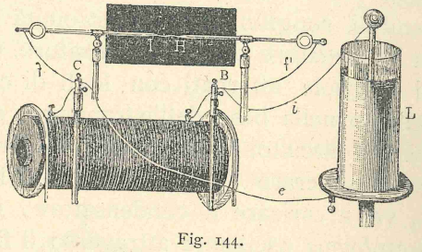


Fig. 144.

Ad eccitare fortemente i tubi di Crookes per la produzione dei raggi X, occorrono rocchetti capaci di dare almeno scintille di un 15 cm. nell'aria, fra una punta positiva ed un disco negativo, quando sono alimentati dalla corrente di un 6 o 8 Bunsen di grande modello, ovvero con altrettanti accumulatori.

Potendo disporre di correnti alternative di debole tensione, si potrebbe pensare a impiegare come trasformatore una semplice bobina di Ruhmkorff, nella quale fossero soppressi l'interruttore e il condensatore. Ma questa disposizione non darebbe punto buoni risultati; la produzione de' raggi X, al contrario, sarebbe di gran lunga diminuita. Le correnti indotte ottenute sotto l'azione di correnti alternative di piccola frequenza raggiungono una tensione molto minore di quella che si ha, quando agisce l'interruttore ordinario delle correnti continue, perchè con esso e col condensatore di Fizeau la rottura del circuito si fa in modo brusco, in tempo brevissimo, e così la forza elettromotrice delle correnti indotte risulta molto maggiore. Difatti le correnti alternative crescono e decrescono gradatamente, e passano per tutti i valori compresi fra zero e il loro massimo con una rapidità che dipende dalla frequenza; la corrente continua, al contrario, in conseguenza della rottura repentina del circuito, passa bruscamente dal suo valor massimo al valor zero; e poichè la tensione delle correnti indotte dipende dalla rapidità con cui varia la corrente inducente, ne viene che le correnti indotte per la rottura della corrente continua risultano di un potenziale più elevato che quelle indotte dall'azione di correnti alternative di piccola frequenza.

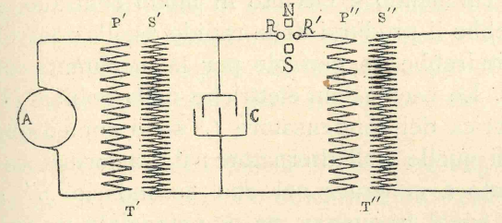


Fig. 145.

Le oscillazioni elettriche, il cui studio ha acquistato da poco tempo una grande importanza, possono essere utilizzate per eccitare i detti tubi. I primi apparecchi destinati a produrre le correnti oscillatorie di alta frequenza e di grande tensione, sono quelli di d'Arsonval e di Tesla: la fig. 145 riproduce la disposizione di Tesla.

A è una dinamo a corrente alternata di quelle comunemente usate, la cui corrente passa pel circuito primario P' di un trasformatore T'. Nel secondario S' di questo trasformatore si genera così una corrente oscillatoria di potenziale più elevato, ma di egual frequenza di quella generata dall'alternatore. C' è un condensatore che continuamente ed alternativamente si carica con la cor-

rente generata in S', e si scarica attraverso alle due palline vicine e ben pulite dello spinterometro $R\,R'$ nel circuito primario P'' di un secondo trasformatore T', immerso in un olio vegetale o minerale per ottenerne un buon isolamento; questo secondo trasformatore costituisce la bobina di Tesla.

La capacità del condensatore, la resistenza e l'autoinduzione del circuito sono scelti in modo che sia soddisfatta la condizione, affinchè la scarica risulti oscillatoria.

La scintilla fra R e R' viene fortemente soffiata con la corrente d'aria di un mantice, ovvero scocca fra i poli N ed S di un'elettrocalamita, perchè non si produca l'arco, il quale chiudendo il circuito in modo continuo, non solo impedirebbe il prodursi delle rapide oscillazioni elettriche, ma costituirebbe un pericolo per la incolumità degli apparecchi. Le oscillazioni elettriche della bobina P'' fornite dalla scarica del condensatore C' sono immensamente più rapide di quelle dell'alternatore; il trasformatore T'' poi è destinato a generare nel suo secondario S'' una corrente di egual frequenza ma di potenziale maggiore.

Quindi l'apparecchio di Tesla nel suo complesso comprende, oltre ad una dinamo generatrice che è a correnti alternate di notevole frequenza:

1.° Un primo trasformatore che aumenta il potenziale della corrente.

2.° Un condensatore che produce scariche oscillatorie rapidissime.

3.° Un secondo trasformatore che aumenta ancora il potenziale.

Così, in conclusione, si hanno nel secondario dell'ultimo trasformatore T'' correnti ad altissimo potenziale e di elevatissima frequenza, le quali differiscono grandemente nelle loro proprietà dalle altre correnti, vuoi continue, vuoi alternative. Anzitutto la loro intensità e la loro distribuzione nei circuiti derivati non dipendono dalla RESISTENZA OHMICA o resistenza ordinaria di questi, sibbene dalla loro impedenza, detta anche RESISTENZA APPARENTE; questa, indicandola con R_a, è data dalla relazione:

$$R_a = \sqrt{R^2 + I^2}$$

dove R è la resistenza ohmica, e I è L'INDUTTANZA, l'ostruzione cioè dovuta all'autoinduzione del circuito percorso. Siccome poi il più delle volte accade che la resistenza R è trascurabile per rispetto alla induttanza I, dovuta agli effetti dell'autoinduzione, così la resistenza apparente si confonde in tali casi colla induttanza. Ed è facile persuadersene, scaricando un condensatore attraverso ad un filo corto e grosso di rame piegato in elica; mentre la resistenza ohmica in tal caso è piccolissima, non è lo stesso dell'induttanza, e una lampadina elettrica posta in derivazione su quel filo si accende per la scarica del condensatore, che nella maggior parte percorre questa via, sebbene più resistente.

Se agli estremi della bobina S'' si congiungono due cerchi concentrici fatti con filo di rame e di raggi diversi, la differenza di potenziale è sufficiente perchè tra i due fili si produca un torrente di scariche in forma di fiocchi luminosi relativamente freddi, che producono il più bell'effetto. Non possiamo qui descrivere le varie forme di queste scariche, e le belle esperienze di Tesla, chè sarebbe fuori di luogo; però vogliamo ricordare che, mentre le correnti alternate di bassa frequenza, quando superano la differenza di potenziale di poche centinaia di volta, possono riuscire micidiali per l'uomo, le correnti prodotte con un apparecchio di Tesla, come quello che si è descritto, sono assolutamente innocue; esse possono attraversare il corpo umano senza danno, anzi con beneficio in certi casi. Il Tesla attribuisce il fatto alla circostanza che tali correnti non penetrano nei conduttori, ma si propagano alla loro superficie; d'Arsonval invece, pure riconoscendo l'esattezza della spiegazione per i conduttori metallici, non conviene che la stessa cosa succeda pel corpo umano, e

reputa che la quasi insensibilità nostra per le dette correnti deve avere altre ragioni.

In luogo della dinamo A, per eccitare la bobina di Tesla si può impiegare un potente rocchetto di Ruhmkorff; in tal caso P' rappresenta il primario di questo e S' ne è il secondario, il quale, come si vede, è in serie col primario P'' della bobina di Tesla e col deflagratore RR'. Il condensatore C, formato per lo più da grandi bottiglie di Leida, è posto in derivazione, come prima. Sul circuito $S'P''$ e con le sue scariche attraverso RR' dà luogo alle oscillazioni di grandissima frequenza.

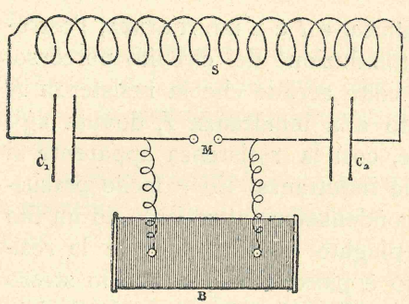


Fig. 146.

D'Arsonval impiega, per le sue esperienze terapeutiche e per la produzione dei raggi X, una disposizione,

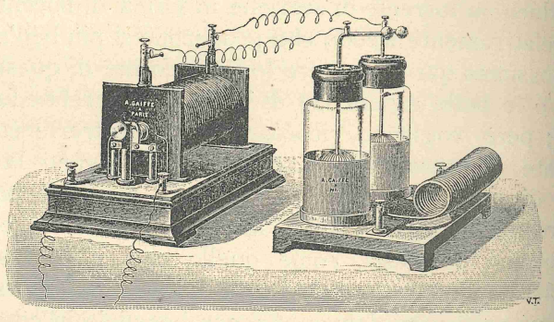


Fig. 147.

che differisce un po' da quella di Tesla; la fig. 146 ne dà lo schema, e la fig. 147 rappresenta l'apparecchio nella forma sua più semplice. La corrente indotta di una bobina di Ruhmkorff carica le armature interne di due condensatori C_1 e C_2 formati da due grandi bottiglie di Leida, le cui armature esterne comunicano con un solenoide S fatto di grosso filo: l'eccitatore a scintille M è costituito dal prolungamento delle asticciuole congiunte alle armature interne. Ad ogni scintilla, ossia ad ogni scarica delle armature interne, si produce nel filo che riunisce le armature esterne una corrente *oscillatoria* di alta tensione e di grandissima frequenza. Il solenoide può formare il circuito primario di un secondo trasformatore, se si vuole modificare la tensione della corrente prodotta; se al contrario, tale tensione è sufficiente, si può utilizzare la corrente oscillatoria di alta frequenza aggiungendo due fili di presa della corrente all'estremità del solenoide S. Gli effetti di autoinduzione sono così forti con queste correnti di alta frequenza, che soltanto una piccola parte della corrente percorre il solenoide, e nelle quasi totalità questa si slancia nel circuito esterno, ancorchè più resistente, se esso contiene un tubo a vuoto senza elettrodi. Per regolare la corrente esterna al solenoide, si può, fissando uno dei fili di presa ad un capo, muovere l'altro in modo da comprendere fra i loro punti di unione un numero di spire maggiore o minore.

La fig. 148 mostra una delle tante esperienze che si possono fare per mettere in evidenza la influenza preponderante dell'autoinduzione in questo caso delle correnti oscillatorie di grande frequenza: se si riunisce il filamento di una lampada a incandescenza all'estremità del solenoide S, e tenendo la lampada con una mano si tocca con l'altra l'estremità opposta del solenoide, si vede il filamento divenir luminoso. La resistenza opposta alla corrente dal corpo dello sperimentatore, dalla lampada e dai fili di congiunzione è incomparabilmente maggiore di quella fornita dal solenoide, ma l'autoinduzione è minore: si vede così che queste correnti seguono di preferenza il cammino che offre minore impedenza.

Facendo l'esperienza ora detta, lo sperimentatore non risente alcuna sensazione dal passaggio pel suo corpo della corrente.

La tav. IV rappresenta la disposizione adottata da Gaiffe per la produzione e l'uso terapeutico di tali correnti. La bobina di Ruhmkorff, munita dell'interruttore d'Arsonval-Gaiffe già descritto (fig. 142), è congiunta a due condensatori piani fatti con fogli di stagnola separati da lastre di vetro, che sono rinchiusi in una cassetta di legno; il solenoide *S*, come pure l'eccitatore *M*, si vedono nella parte anteriore della cassetta. Il solenoide grande, posto con l'asse verticale sul coperchio della cassetta, serve per certe applicazioni terapeutiche, mettendo a profitto le correnti che si generano per induzione nel corpo dell'animale posto entro il solenoide, e separato da questo: è il fenomeno detto da d'Arsonval dell'*autoconduzione*, ma esso non ha punto a vedere con i raggi X. Per la produzione di questi con il mezzo di correnti oscillatorie di alta frequenza, si presenta il grave inconveniente che spesso i tubi ne restano forati, come accade pure con le macchine elettrostatiche.

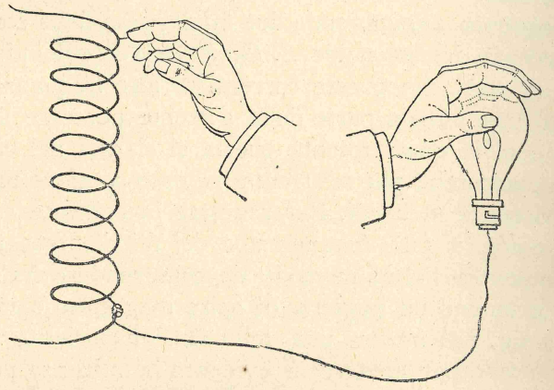


Fig. 148.

Così è che le correnti di alta frequenza non hanno avuto larga applicazione nella produzione de' raggi X.

Per eccitare un tubo di Crookes con questo apparecchio, basta riunire i suoi elettrodi agli estremi o poli della bobina di Tesla; in tal caso però, poichè i due poli suddetti diventano alternativamente anodo e catodo, i tubi ordinari fornirebbero due diversi centri di emanazione dei raggi X, che perturberebbero senza dubbio la nitidezza delle immagini. Si può evitare tale inconveniente costruendo il tubo simmetrico della fig. 102, nel quale gli elettrodi sono entrambi foggiati a specchi concavi, coincidendo il loro centro di curvatura nel medesimo punto della parete.

Violle e d'Arsonval hanno mostrato che con un apparecchio di Tesla, si può sostituire il tubo di Crookes con una semplice lampada a incandescenza, facendo servire il filamento di carbone da uno degli elettrodi, mentre l'altro è costituito da una calottina o da un anello di stagno applicato sulla superficie esterna del vetro.

I tubi focus ordinari non possono essere eccitati con l'apparecchio di Tesla, perchè lo specchietto di platino vaporizzandosi ben presto metterebbe il tubo fuori di servizio; possono però essere adoperati quelli della fig. 103.

Invece che con pile o accumulatori, si può eccitare il rocchetto anche con una opportuna derivazione della corrente continua che serve alla illuminazione pubblica, com'è indicato nella fig. 149: la corrente nel punto *A* si divide in due rami derivati; un ramo segue il cammino *A PP' BR*..., l'altro passa per la macchina di Ruhmkorff. Si può regolare la differenza di potenziale fra i punti *A* e *B*, e quindi la intensità della corrente che passa nell'apparecchio d'induzione, sia regolando la resistenza con il reostato *R*, sia spostando il filo *PP'*, che come il ponte di un reocordo unisce i due fili *AC*, *BD*, tesi parallelamente.

Dei tubi abbiamo diffusamente parlato al § 53: i più ordinariamente usati sono quelli a globo sferico con tre elettrodi filiformi comunicanti col polo positivo (anodo), ed uno a dischetto, che può essere piano o concavo, riunito al polo negativo (catodo) (fig. 51); ovvero quelli periformi simili al tubo della fig. 54, i quali in luogo della croce di alluminio hanno, nella parete laterale, un semplice dischetto di alluminio funzionante da anodo (fig. 87). Ma migliori di

questi sono i tubi focus aventi la forma delle fig. 93, 94; essi sono più potenti e per mezzo loro si ottengono ombre più nette e più forti degli oggetti opachi. L'unico difetto dei tubi focus è quello che abbiamo già detto al § 55 di non poter funzionare a lungo, perocchè la scarica finisce col non passarvi più. Vi si rimedia sia riscaldandoli dolcemente con una fiamma a spirito, sia sospendendo a quando a quando la loro eccitazione. I tubi quando sono ben vuotati, ossia quando sono nel 3° stadio della lumi-

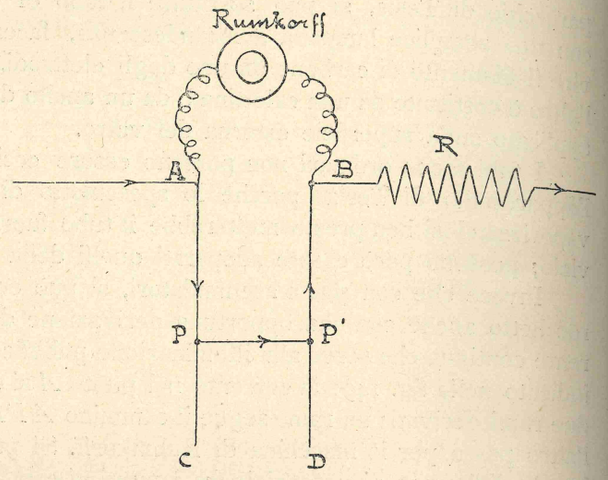


Fig. 149.

nosità negativa, si riscaldano poco anche quando funzionano a lungo.

Per assicurarsi del regolare funzionamento della sorgente di elettricità, dell'apparecchio di induzione, ecc., è bene tenere un amperometro insieme con un reostato nel circuito primario del rocchetto, anche per evitare correnti troppo intense che il rocchetto non potesse sopportare. Si può anche a tal fine togliere a quando a quando le comunicazioni della bobina col tubo di Crookes, e stabilirle invece con uno spinterometro per misurare la lunghezza della scintilla.

Si eviteranno con cura la polvere e l'umidità su tutti gli apparecchi: finalmente prima di cominciare una esperienza, per accertarsi del buon funzionamento del tubo, sarà bene di osservare l'ombra delle ossa della mano su uno schermo fluorescente; ovvero, ponendo un elettroscopio ad una distanza conveniente, si misurerà la velocità della caduta delle foglie d'oro.

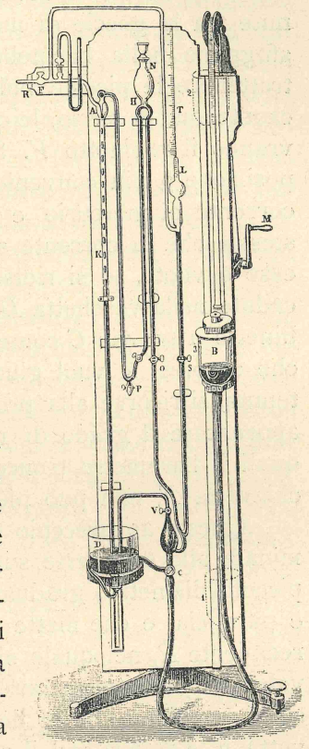


Fig. 150.

§ 87. **Apparecchio di rarefazione.** — Il grado di vuoto dei tubi di Crookes ha una grande importanza, come si è detto (§ 54), per la produzione dei raggi X: per arrivare a quella rarefazione che è necessaria per ottenere i nuovi raggi, è indispensabile di impiegare delle pompe a mercurio, e quella di Sprengel della fig. 150 presta ottimo servizio. Il recipiente dal quale si vuole estrarre l'aria è a sinistra di *F*; esso comunica con un tubo che contiene anidride fosforica per assorbire il vapore acqueo, e con un altro tubo contenente solfo o selenio per assorbire i vapori di mercurio; detti tubi non sono rappresentati nella figura. Si fa comunicare il recipiente colla tromba, aprendo la chiavetta *F*, attraverso alla quale l'aria viene aspirata dal mercurio, che a goccia a goccia cade da *A* nel cannello *K*; questo si apre nel fondo della bacinella *D*, che serve a raccoglierlo. Per mettere in circolazione il mercurio contenuto in *D*, si comincia coll'abbassare il serbatoio *B*, svolgendo la cinghia fino a che esso occupi la posizione 1, e si gira nello stesso tempo la chiavetta a tre vie *C*; indi si rigira *C* in modo da

toglier la comunicazione con D e da stabilire la comunicazione con H, e si innalza il serbatoio sino alla posizione 2. Allora il mercurio comincia a circolare per C ed O; in HN abbandona le traccie d'aria, che può aver portato con sè, e continua per HP fino in A, dove sgocciola aspirando l'aria dal serbatoio R: le bolle di gas asportate e mantenute tra le goccie di mercurio lungo il tubo verticale K, sfuggono nella bacinella D. L'ampolla V è destinata a trattenere le piccole bolle d'aria provenienti dal tubo di caoutchouc in basso, le quali possono essere espulse manovrando il rubinetto V. Si fissa poi il serbatoio B nella posizione 3 più conveniente per regolare la velocità della corrente di mercurio e si abbandona l'apparecchio a sè stesso, chè la corrente seguita come in un sifone; quando esso è vuoto, lo si ridiscende e si fa passare il mercurio caduto nella vaschetta D, girando convenientemente il rubinetto a tre vie C come prima. Quando, passato il tempo che occorre, si vuol giudicare del grado di rarefazione ottenuta, si ricorre alla provetta di Mac-Leod, che serve ad apprezzare il grado di rarefazione a questi vuoti, per i quali il barometro tronco, che si vede in alto vicino alla chiavetta F, non può più dare alcuna utile indicazione.

Questo apparecchio è costituito da una ampolla L terminata alla sua parte superiore da una piccola provetta di piccolo diametro, graduata come la parte del tubo che gli è parallela, e che mette l'ampolla in comunicazione con il recipiente R, nel quale si è fatto il vuoto che si tratta di valutare. L'ampolla contenendo il gas rarefatto alla medesima pressione che in detto recipiente, si chiude la chiavetta F, e si leva così il recipiente R; si manovra poi colla chiavetta S e col serbatoio B in modo da ridurre il volume del gas rarefatto, contenuto nella provetta. A seconda del volume che assume questo residuo gassoso sotto una pressione conosciuta, si può facilmente dedurre la sua pressione primitiva: se, per esempio, questo residuo gassoso occupa finalmente sotto la pressione atmosferica un volume eguale al millesimo di quello che primitivamente occupava

alla pressione del recipiente R, si può concludere che questa pressione corrisponde ad un millesimo d'atmosfera; ciò sarebbe esatto, se la legge di Boyle si potesse ancora applicare a questo grado di rarefazione.

Siccome la produzione del vuoto con queste trombe a mercurio è una operazione che richiede parecchio tempo, ed è un fastidio la necessità di dovere esercitare una sorveglianza continua per far risalire il mercurio a misura del suo efflusso, così si è complicato l'apparecchio coll'aggiunta di parti, che permettono ad esso di funzionare senza sorveglianza; la qual cosa si ottiene col fare risalire automaticamente il mercurio nella tromba, come succede per esempio nell'apparecchio immaginato da Verneuil e costrutto da Chabaud: ma noi non possiamo entrare in questi particolari, che ci condurrebbero troppo fuori di via.

§ 88. **Procedimenti sperimentali.** — Le immagini ottenute con i raggi X non essendo che ombre, si è obbligati, affinchè esse siano nette, di evitare il più possibilmente gli effetti di penombra, i quali sono tanto più deboli quanto più gli oggetti sono vicini allo schermo fluorescente o alla lastra sensibile, e lontani dalla sorgente; ma con ciò viene a diminuire l'energia, e il campo nel fluoroscopio diventa poco chiaro, o il tempo di posa per la fotografia è troppo lungo. La distanza che più conviene coi tubi ordinari varia dai 12 ai 15 cm.; una distanza più breve dà delle immagini poco nette. Tale distanza poi deve essere tanto maggiore, quanto più esteso e più spesso è l'oggetto che si vuol fotografare. Del resto con il fluoroscopio si vede subito, osservando le ombre delle ossa di una mano, quale sia la minima distanza più conveniente a cui deve trovarsi la regione anticatodica del tubo.

Imbert e Bertin-Sans proposero di limitare il fascio con schermi forati, interponendo tra la lastra sensibile e il tubo un diaframma forato in metallo: l'imagine è tanto più netta quanto più l'apertura è piccola, ma il tempo di posa con questo espediente diventa più lungo, e il vantaggio è effimero.

Ciò che più importa, per ottenere immagini nette, è che l'oggetto da radiografare sia molto vicino alla lastra sensibile, ovvero allo schermo fluorescente. Il mezzo più spiccio è, nel caso della radiografia, di posarlo direttamente sulla lastra sensibile, involta in due o tre strati di carta nera: la pellicola sensibile deve essere rivolta verso il tubo e l'oggetto interposto, e se l'umidità di questo può guastare la lastra, si interporrà una lastra di alluminio di assai tenue spessore; od anche, il che è più semplice, si rinchiuderà la lastra in una di quelle scatole di cartone, colle quali esse vengono poste in commercio. E siccome è necessario che l'oggetto sia vicinissimo alla lastra, bisogna rialzare il fondo della scatola con una tavoletta di legno di conveniente spessore, sulla quale, dopo averla avvolta in due o tre strati di carta nera, si adagia la lastra colla pellicola sensibile rivolta all'insu verso il coperchio, e sopra questo si pone l'oggetto di cui si vuole ottenere l'imagine; il tubo si dispone coll'asse normale alla lastra e con la regione autocatodica rimpetto a questo (v. fig. 74).

Il tempo di esposizione varia moltissimo a seconda della distanza suddetta degli oggetti e dei tubi: trattandosi di un traforo metallico e di un tubo focus, si può ridurre il tempo di posa ad 1″: se invece si vogliono ottenere i particolari di un oggetto molto spesso e fortemente assorbente, una mano d'uomo o un animale di media grossezza (cavia, topo, coniglio), coi tubi ordinari si richiede circa un'ora di posa, ma con i tubi focus questo tempo è ridotto di molto: bastano uno o due minuti, per esempio, per ottenere la radiografia di una mano come quella della tav. II: le carni appaiono appena con una leggera sfumatura, e le stesse ossa mostrano traccie sensibili di lasciarsi attraversare anch'esse, sebbene in grado assai minore.

Se un oggetto estraneo, opaco ai raggi, come per esempio una scheggia di vetro, uno spillo, un proiettile viene a conficcarsi nella carne, la fotografia con i raggi X ne rivela con sicurezza la presenza. La determinazione precisa della giacitura si rende più agevole con due radiografie prese inclinando leggermente il tubo, una volta a destra e una volta a sinistra, come si farebbe per avere due fotografie stereoscopiche di un medesimo oggetto, e guardando poi in uno stereoscopio le due fotografie ottenute.

Non c'è bisogno di dimostrare la utilità e la importanza d'un simile procedimento, e tutto il vantaggio che possono ritrarne il medico, il chirurgo, il naturalista. La tav. III mostra la radiografia di una mano, che fra le ossa del metacarpo ha una palla di rivoltella; è molto distinta la penombra delle carni; la prova, ottenuta con un tubo di Crookes ordinario, richiese una posa piuttosto lunga.

Per le radiografie si impiegano le ordinarie lastre sensibili al gelatino bromuro di argento: quelle Lumière e quelle Cappelli servono allo stesso modo; non si constata difatti fra esse notevoli differenze di sensibilità; quanto alla rapidità dell'impressione quelle ortocromatiche non presentano notevoli vantaggi. La negativa una volta ottenuta, si può conservare nella sua scatola indefinitamente, purchè si tenga lontana dai tubi in cui si eccitano raggi catodici. Volendola poi sviluppare, il processo è quello istesso che s'adopra nelle ordinarie fotografie. Come agenti rivelatori si adoperano comunemente soluzioni diluite di solfato od ossalato ferroso, od anche di acido pirogallico; l'idrochinone, l'iconogene, il cristallos [1] ser-

(1) Il cristallos presenta sugli altri sviluppi il vantaggio che la sua azione si può facilmente graduare. Secondo le analisi dell'Eder e Valenta di Vienna, la composizione di questo rivelatore è la seguente:

A)	Idrochinone	gr.	10
	Solfito di sodio	„	40
	Ferrocianuro di potassio .	„	120
	Acqua	„	900
B)	Soda caustica	gr.	50
	Acqua	„	100

Per l'uso si prende 60 parti di *A* e 6 di *B*; è d'una grande energia; per prove posate richiede l'aggiunta di 30 a 50 cm³ d'acqua e qualche goccia di bromuro.

vono egualmente bene. Qualunque sia l'agente rivelatore adoperato, mescendolo sulla lastra, esso sviluppa l'imagine negativa con tinte più o meno cupe, come succede per la luce, nei punti che sono stati più o meno impressionati durante l'esposizione ai raggi X. È bene osservare che questa operazione di sviluppare la imagine deve essere protratta più a lungo che con lastre impressionate dalla luce. Non resta poi che a fissare l'imagine, cioè a sciogliere il bromuro d'argento ancora indecomposto, chè altrimenti, quando la lastra fosse esposta alla luce, si annerirebbe tutta quanta: serve benissimo a questo fine una soluzione d'iposolfito di sodio. Dopo di ciò la lastra è trasparente nei punti protetti dall'azione dei raggi X, pellucida ove l'azione di questi è stata debole, opaca nelle regioni fortemente impressionate. Si lava abbondantemente, si asciuga, si protegge con una vernice di copale, e la prova negativa è finita ed è pronta a dare quante riproduzioni si vogliano. Per ottenere le prove positive, si procede come nelle ordinarie fotografie: si adagia cioè la carta sensibile, colla faccia che contiene il sale aloide, sulla pellicola della negativa impressionata, e si espone alla luce diffusa del giorno per un tempo che la pratica suggerisce: s'imprimerà su essa la *imagine positiva*, poichè la luce annerirà la carta attraverso la regione diafana della negativa, e lascerà la carta intatta nelle regioni oscure ed opache della negativa. Si lava poi il foglio, e si fissa la imagine così ottenuta in un bagno d'iposolfito e d'oro che scioglie il bromuro d'argento indecomposto, e conferisce all'imagine tinte migliori. Il processo fotografico si compie con una nuova lavatura e con l'asciugamento della positiva.

Le fig. 77 e 78 rappresentano, la seconda la imagine negativa di un pesce, come si ottiene direttamente sulla lastra colpita dai raggi X; la prima la imagine positiva. In quella la parte scheletrica, opaca pei raggi X, risulta bianca e quindi più corrispondente alla realtà.

Se per ispeciali esperienze occorre che il supporto dello strato sensibile sia trasparente, si adoperano delle pellicole su celluloide e delle pellicole autotese.

Diciamo ora che parecchi furono i tentativi per abbreviare la durata della posa fotografica, ponendo dietro la lastra sensibile delle sostanze fluorescenti: l'idea sorse nella mente dei primi sperimentatori, fra i quali Battelli e Garbasso, i quali ponevano, come si è ricordato, dietro pellicole sensibili autotese uno schermo fluorescente di platinocianuro di bario; questa sostanza diventando luminosa nei punti colpiti dai raggi del Röntgen, agevola l'impressione fotografica. Winkelmann e Straubel menarono molto più tardi gran rumore per un metodo identico, nel quale il platino cianuro di bario era costituito da uno strato di fluorite. Ma poichè essi adoperarono lastre sensibili ordinarie, e il vetro è poco permeabile ai raggi di Röntgen, la fluorite non potrà per questi acquistare una viva luminescenza, e però non bisogna farsi grandi illusioni quanto alla riduzione del tempo di posa con tale artificio.

Il metodo è invece efficace quando si adoperino delle pellicole autotese che sono trasparenti per raggi X, come fecero Battelli e Garbasso; del resto anche con il criptoscopio si può verificare che lo schermo fluorescente diventa meno luminoso dietro un vetro di lastra sensibile, che dietro una pellicola autotesa.

Per vedere in quale misura la interposizione delle sostanze fluorescenti favorisca la impressione fotografica, il Murani fece molte esperienze.

Fra le altre riferiremo le seguenti: entro la solita scatola, sopra uno schermo preparato con il platino-cianuro di bario, di tali dimensioni da occupare solamente la metà dell'area rettangolare, collocava una lastra sensibile, ora non più avvolta, come è naturale, in carta nera. Sopra il coperchio della scatola veniva indi posta una lastra traforata di zinco, e si esponeva il tutto alle radiazioni del tubo di Crookes. Se la fluorescenza dello schermo suddetto avesse agevolato l'impressione della lastra sensibile, una metà di questa, essendo il tempo di posa il medesimo e la posizione simmetrica, avrebbe dovuto presentare una impressione più forte; ma la lastra rimase invece nelle due

metà quasi egualmente impressionata: la cosa non può fare meraviglia, perchè i raggi X, poco atti ad attraversare il vetro, non possono destare una viva fluorescenza dello schermo, e questo esercita una debole azione.

Peggio poi le cose procedono se lo schermo fluorescente è collocato sopra la pellicola sensibile, con la faccia fluorescente rivolta verso di questa: non solo allora si svelano sulla lastra tutte le granulosità e tutte le imperfezioni dello schermo, ma siccome i cristalli dei raggi fluorescenti sono più o meno assorbenti dei raggi X, l'effetto

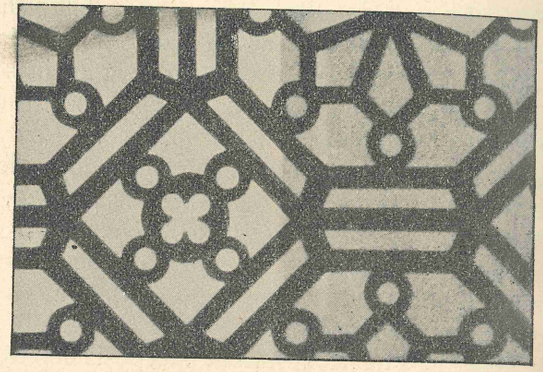


Fig. 151.

è diminuito. La fig. 151 riproduce un' impressione fotografica ottenuta collocando direttamente sopra lo strato sensibile di una lastra Lumière un traforo metallico, e su esso lo schermo classico di platino-cianuro di bario: con tale disposizione, questo diventava certamente fluorescente, ma il resultato ottenutone prova l'azione negativa: la lastra è difatti rimasta meglio impressionata a sinistra, nella parte non ricoperta dallo schermo.

Anche lo Stefanini ottenne lo stesso resultato; il che non è conciliabile con quanto asserisce il Basilewski, di avere cioè potuto, sperimentando nel modo detto dianzi, abbreviare notevolmente il tempo di posa.

Una notevole riduzione invece si ottiene aumentando la potenza del tubo di Crookes col deviare, per mezzo di una calamita, il fascio interno dei raggi catodici, come lo mostra la figura 152: difatti con questo metodo si può concentrare il flusso dei raggi catodici in una regione poco estesa della parete di vetro (§ 33). Ma volendo sperimentare in modo più semplice, conviene ricorrere ai tubi focus, i quali come sappiamo sono immensamente più energici di quelli ordinari.

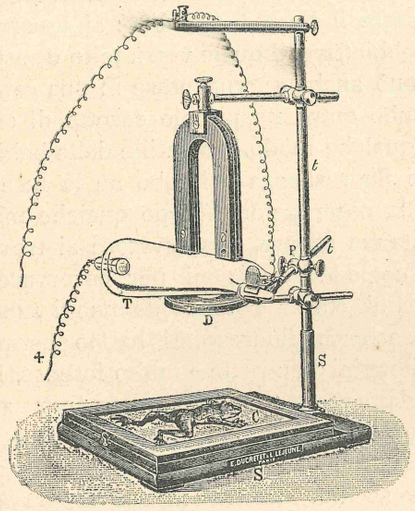


Fig. 152.

Invece di fotografare le ombre proiettate dei corpi opachi, si può osservarle sullo schermo fluorescente; questo metodo è più semplice e gli effetti sono immediati, poichè essi non si sommano come nelle azioni fotografiche: le ombre però non riescono così nitide come con la radiografia, e di più non resta alcuna traccia della cosa; il che è un male, quando occorra di studiare con agio l' ombra ottenuta. Il modo di disporre l' esperienza è assai semplice: basta intercalare, come si è detto, l'oggetto da esaminare

tra la sorgente dei raggi X e lo schermo luminescente, che avrà lo strato sensibile rivolto verso l'osservatore (tavola V). Se si vogliono ombre nitide bisognerà che l'oggetto sia molto vicino allo schermo, e che la sorgente sia ad una conveniente distanza.

Ponendo lo schermo nel fondo d'un tubo di latta provveduto d'un oculare, si ha il criptoscopio di Salvioni, col quale si può operare in pieno giorno. Una camera oscura fotografica può egualmente servire; basterà al vetro smerigliato sostituire lo schermo fluorescente, e porre dinanzi a questo il tubo di Crookes: si osserverà per l'apertura dell'obbiettivo, il quale verrà tolto e sostituito da un oculare. Si può anche sperimentare in una camera oscura, ponendo il tubo entro un piccolo casotto di carta nera e coprendo in qualche modo le scintille della bobina, affinchè nè la luce di fluorescenza del tubo nè la luce delle scintille turbino la osservazione. Dopo qualche minuto di dimora nella stanza oscura, l'osservatore si trova nelle migliori e più comode condizioni per osservare le ombre fluorescenti. Poi che la potenza de' nuovi tubi e la perfezione degli schermi fluorescenti hanno permesso di ottenere delle imagini ben nette e molto intense, il fluoroscopio si è rapidamente sviluppato. Esso non sostituisce i processi fotografici, ma li completa. Quando occorrerà soltanto una prova fuggevole, è molto comodo adoperare lo schermo fluorescente; quando invece si vorrà che resti un documento della prova, si utilizzerà la lastra sensibile.

Prima di prendere una prova radiografica, si cercherà il migliore aspetto, la migliore orientazione da dare all'oggetto col mezzo di un fluoroscopio; in una parola ci si servirà di questo istrumento per uno studio preliminare, prima di procedere alle prove fotografiche.

Il numero delle interruzioni della corrente della bobina di Ruhmkorff ha molta importanza sulla produzione dei raggi X, come lo provano le ricerche di J. Chappuis e E. Nugùes: questi due sperimentatori, avendo fatto variare da tre a cinquanta per secondo il numero

delle interruzioni col mezzo di un interruttore Foucault, constatarono, valendosi dell'azione elettrica dei raggi X, che il massimo di produzione loro aveva luogo quando le interruzioni erano 10 per secondo. Essi osservarono inoltre che l'effetto della scarica era istantaneo, senza prolungamento alcuno (v. pag. 191): prendendo la radiografia della molla dell'interruttore in azione, se ne ottiene una impressione netta, che corrisponde alla sua posizione della rottura del circuito. Parrebbe a tutta prima che più le interruzioni sono frequenti, e maggiore dovrebbe essere l'azione totale, e che l'interruttore rapido di Deprez dovrebbe quindi preferirsi a quello più lento di Foucault: ma a cagione dei noti fenomeni di induzione, con la stessa sorgente di elettricità si stabilisce nel primario una corrente più intensa con l'interruttore a mercurio, che con quello a martello; e in armonia con ciò, anche le scintille dovute alle correnti indotte diventano più lunghe; in altre parole, con l'interruttore rapido si guadagna in frequenza, ma si perde in energia.

V'hanno pertanto due fenomeni che variano in senso inverso, e dei quali bisogna tener conto nel determinare le condizioni del massimo di potenza del tubo. Tuttavia non è possibile di dare numeri che valgano in ogni caso, poichè le condizioni del massimo variano con ciascuna bobina; e se questo è raggiunto con 10 interruzioni nelle condizioni sperimentali di Chappuis e Nugùes, non ne segue che sarà lo stesso con un altro apparecchio qualunque. E in prova di ciò vogliamo qui riferire i risultati del Murani: questi adoperava, per eseguire le esperienze di radiografia, un rocchetto che ha il filo indotto lungo 48000^{m}: la corrente primaria poteva essere interrotta o con l'interruttore a mercurio di Foucault, o con quello rapido di Deprez. Alimentando l'apparecchio con la corrente di otto Bunsen di medio modello, si possono avere col primo interruttore scintille nell'aria di 25 cm. fra una piccola sferetta positiva e un disco negativo, e con il secondo soltanto di 18 cm. Si regolava il contrappeso del primo

interruttore, in modo d'avere 4 scariche al secondo; allora, in queste condizioni, la corrente primaria oscillava fra i 6 e 7 ampère. Immensamente maggiore è la frequenza dell' interruttore a martello, ma in tal caso la intensità della corrente è compresa fra 2 e 3 ampère; in armonia con questo, il tubo di Crookes mostra una più viva fluorescenza delle pareti con l' interruttore a mercurio. Per giudicare quale dei due interruttori convenisse meglio all'uopo, si prendevano sulla stessa lastra sensibile due radiografie di una lamina traforata o monogrammo di zinco, facendo agire il tubo per un tempo eguale, e breve: si intende che una metà della lastra era, in ciascuna prova, protetta con uno schermo del tutto impermeabile ai raggi X, costituito da una foglia di piombo sufficientemente spessa. Si è ripetuto l'esperimento più volte, anche con tubi diversi, e si è avuta la cura di alternare le prove con i due interruttori; il risultato è stato sempre questo che nelle dette condizioni i due interruttori quasi si equivalgono: bisogna quindi concludere che con le frequenze relativamente grandi, l'effetto esplicato da ogni singola scarica sia stato minore. Questo risultato si accorda con le misure eseguite allo stesso intento dal Ròiti: anche il Righi ha osservato lo stesso fatto: onde può valere in generale l'asserzione dello Chappuis, che con l'interruttore a mercurio si ha in ogni caso una ben maggiore produzione di raggi X.

Però, quando si voglia osservare le ombre su uno schermo fluorescente, è necessario far uso di un interruttore rapido, chè in caso diverso si succedono variazioni con massimi e minimi di luce così marcati, da rendere l'osservazione penosa per l'occhio e pressochè impossibile.

Ad evitare la perforazione delle ampolle vuote, cagionata dal riscaldamento della parete anticatodica, quando le correnti sono molto intense, d'Arsonval propone di immergere questa parte dell'ampolla in una piccola capsula di celluloide ripiena d'acqua: il riscaldamento in questo modo diminuisce di molto, e poichè la capsula e il sottile strato d'acqua interposto fra essa e la parete dell'ampolla

costituiscono un sistema trasparente, non si viene ad opporre alcun sensibile ostacolo alla radiazione.

§ 89. **Applicazioni.** — Fino ad oggi la principale applicazione dei raggi X, quella da cui derivano pressochè tutte le altre, è senza dubbio la produzione di immagini radiografiche e fluoroscopiche attraverso corpi opachi alle radiazioni luminose.

La parola fotografia non poteva evidentemente convenire ad una operazione, nella quale non entra alcuna radiazione luminosa; così essa è stata sostituita dall'altra più appropriata, sebbene più generica, di *radiografia*. Noi abbiamo visto che i raggi X hanno la proprietà di attraversare la maggior parte dei corpi opachi alla luce, e che essi possono attraverso a tali corpi impressionare una lastra sensibile; sappiamo del pari che i differenti corpi non sono permeabili colla medesima facilità, e che presentano una trasparenza maggiore o minore a seconda della loro densità e della loro costituzione. Si comprenderà quindi facilmente che un oggetto qualunque, interposto fra una sorgente di raggi X ed una lastra sensibile, proietterà su quest'ultima delle ombre più o meno forti, secondo la natura e lo spessore delle sue differenti parti, e però si osserveranno nella lastra le corrispondenti imagini di tali ombre portate. Prendendo, per esempio, una radiografia della mano, le carni, che sono semitrasparenti per i raggi X, proietteranno una leggera ombra sulla lastra sensibile, mentre le ossa, molto più opache, proietteranno ombre più intense. Come si vede, la radiografia differisce dalla fotografia non solamente per le radiazioni utilizzate, ma ancora per la disposizione dell'operazione, e pei risultati ottenuti: nella fotografia si utilizzano le radiazioni luminose visibili, che riflesse dagli oggetti da riprodurre, e rifratte da un obbiettivo, danno l'imagine della superficie di questi oggetti; nella radiografia si utilizzano invece radiazioni di natura sconosciuta, emesse da un tubo estremamente rarefatto quando vi passano potenti scariche elettriche; tali radiazioni invisibili non subiscono

alcuna riflessione nè alcuna rifrazione sensibile, e forniscono le ombre degli oggetti che esse incontrano: queste ombre più o meno intense a seconda dello spessore e della trasparenza degli oggetti, sono raccolte direttamente sopra una lastra sensibile od osservate al fluoroscopio; esse sono indipendenti dal rilievo esterno.

Le numerose radiografie innanzi descritte mostrano bene la verità di quanto diciamo: qui aggiungeremo quella

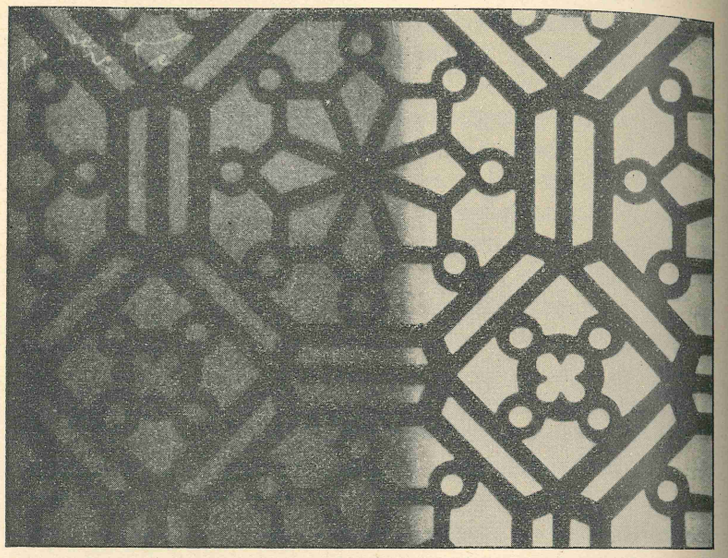


Fig. 153.

di un monogramma di zinco (fig. 153), ottenuta con un tubo ordinario periforme, esponendo la lastra non di fronte alla regione anticatodica, dove è maggiore lo irraggiamento, ma parallelamente all'asse del tubo: nella parte più oscura, il traforo metallico posato sulla lastra era coperto da un libro di un seicento pagine.

Quanto al modo di disporre l'esperienza per ottenere prove radiografiche, ne abbiamo largamente discorso ai

§§ 44, 53, ed abbiamo allora dette le condizioni necessarie per ottenere impressioni nitide. Si è pur notato che il tempo di esposizione necessario per avere una buona radiografia è estremamente variabile, secondo il tubo impiegato, la sorgente di elettricità di cui si dispone, lo spessore e l'opacità dell'oggetto, e la distanza del tubo dalla lastra sensibile: tale posa può variare da più ore a pochi secondi, od anche frazione di secondo.

La nettezza delle prove ottenute è anche essa diversa secondo il tubo, e le distanze dell'oggetto dal tubo e dalla lastra. Si è detto che avvicinando l'oggetto a questa, aumenta naturalmente la nitidezza delle ombre portate, e se ne attenua di molto la penombra: ciò per la stessa ragione che l'ombra d'un oggetto qualunque, proiettata da una sorgente ordinaria di luce, è altrettanto più nitida, che lo schermo che la riceve si trova più vicino all'oggetto. Conviene quindi, come si è ripetuto più volte, tenere la lastra col suo strato sensibile o lo schermo fluoroscopico molto vicini all'oggetto preso in esame.

Per ottenere una nitidezza perfetta, bisognerebbe che il luogo di emissione dei raggi X si riducesse ad un punto, il che non è possibile; però sotto questo aspetto i tubi focus sono migliori di quelli ordinari (§ 53). Il tubo di Colardeau, costrutto da Chabaud, e che abbiamo descritto innanzi (§ 53), è uno di quelli che realizzano meglio questa condizione, e le imagini ottenute sono molto nitide, come lo provano, oltre la figura del serpe a pag. 189, anche quella della fig. 154: essa è la radiografia d'un portafogli contenente diversi oggetti, e vi si distinguono i più minuti particolari. Si scorgono un paio di occhiali, due aghi, una spilla, una lancetta, una penna, una chiave, un lapis ed una lettera metallica: il cuoio del portafogli, la madreperla della lancetta, il legno del lapis, sono assolutamente attraversati dai raggi: la grafite del lapis proietta un'ombra leggera, e la piccola interruzione che vi si vede, palesa certo una rottura; da ultimo i corpi metallici, il vetro degli occhiali, e l'estremità fatta

con osso del lapis segnano l'ombra intensamente in nero sul resto dell'imagine, mostrando così la loro opacità quasi perfetta ai raggi X; la nitidezza è tale, che si vede bene il foro del più piccolo ago.

Allontanando il tubo, la nitidezza aumenta, ma allora aumenta anche la durata dell'esposizione; nè per ridurre questa si può aumentare di soverchio la potenza della corrente ad alta tensione che alimenta il tubo, senza compromettere la incolumità sua e quella dell'apparecchio di induzione.

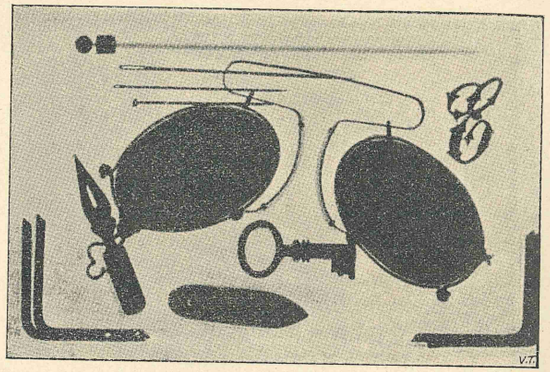


Fig. 154.

I risultati più interessanti sono, senza dubbio, quelli ottenuti prendendo la radiografia di animali e delle differenti parti del corpo umano; si perviene a eliminare le parti muscolari o carnose, e si ottengono scheletri, che possano presentore un grande interesse. Le figure delle tav. VI e VII rappresentano, per esempio, un topo, e dei pesci; si vede che le ossa appaiono assai nettamente, mentre i visceri producono ombre assai meno intense. Si confronti la radiografia della fig. 155, che è quella di una rana morta per asfissia nel cloroformio, con l'altra della rana viva (fig. 76): in quella i due polmoni sono avvizziti, in questa invece sono ben rigonfi, e appaiono

come due macchie bianche, estese da una parte e dall'altra della colonna vertebrale. La radiografia della tavola VIII rappresenta un piede, dove le estremità delle dita leggermente ricurve mostrano chiare traccie delle deformazioni patite, a cagione di calzature troppo strette.

Fig. 155.

Con una bobina di cm. 25 di scintilla ed un tubo focus appropriato, tutte queste radiografie richiedono una durata di esposizione che non arriva a tre o quattro minuti primi. La bella radiografia della mano della tav. II mostra nettissime, oltre le ossa del carpo, del metacarpo e delle falangi, anche le estremità del radio e dell'ulna: le

carni si distinguono per un'ombra leggerissima. Nè meno nitida è l'altra radiografia delle ossa del braccio e avambraccio, con la relativa articolazione del gomito (tav. IX). Quest'ultima richiede una durata di esposizione un poco maggiore, a cagione dello spessore più forte dei tessuti muscolari.

Le applicazioni dei raggi X possono evidentemente essere assai numerose, e ciascun giorno se ne segnala qualcuna nuova. Si vuole, per esempio, conoscere il contenuto d'una scatola di cartone o d'una cassa di legno chiuse, senza aprirle? I raggi X si incaricheranno dell'indiscrezione. Essi traversano le parti opache per i nostri occhi, ma trasparenti per essi, e proiettano sul fluoroscopio o sopra una lastra sensibile l'ombra delle parti impermeabili. La tav. X riproduce la fotografia e la radiografia ottenute da A. Londe, di una di quelle piccole scatole di legno, colle quali si raccomandano negli uffici postali oggetti di valore, e che debbono esser ben chiuse e sigillate. Prima della scoperta dei raggi X non se ne sarebbe potuto vedere il contenuto senza rompere i suggelli e aprire la scatola; ma con i raggi X niente è più facile, come lo dimostra la radiografia: il coperchio, il fondo della cassetta, la carta avvolgente l'oggetto sono totalmente scomparsi; i fianchi, visti sotto un maggiore spessore, proiettano una leggera ombra; ma l'ombre del braccialetto, dei chiodi e dei sigilli di ceralacca sono invece ben distinte.

È per questo stesso procedimento che Girard e Bordas si propongono di ricercare la natura e la composizione di certe macchine esplosive.

Un'applicazione pure importante è quella di studiare le sofisticazioni di alcune sostanze alimentari, desumendola dal grado di minore o maggiore trasparenza: le falsificazioni consistenti nell'aggiunta di sostanze minerali a quelle vegetali, si rende manifesta in grazia della maggiore opacità che esse acquistano pei raggi X. Questo metodo di analisi, oltre la semplicità, presenta il vantaggio di non esigere che deboli quantità di materia, e permette di effettuare in poco tempo un gran numero di saggi: di più la radiografia ottenuta costituisce un documento irrefragabile della cosa. Per esempio, lo zafferano falsificato col solfato di bario proietta un'ombra molto forte; mentre, al contrario, lo zafferano puro, essendo molto trasparente, mostra una traccia appena visibile.

I raggi X permettono, anche a chi non abbia molta esperienza in materia, di riconoscer subito i diamanti veri dai falsi, come si è visto al § 60. Lo stesso metodo può pure applicarsi all'allumina cristallizzata, che sotto il nome di corindone, rubino, zaffiro, smeraldo, topazio, occhio di gatto, costituisce le pietre preziose più ricercate dopo il diamante.

Tali pietre, sebbene meno trasparenti ai raggi X del diamante, lo sono tuttavia più dei vetri colorati che le imitano.

I raggi di Röntgen possono ancora servire a controllare l'omogeneità di certi corpi, che in lamine sottili mostrano una sufficiente trasparenza: si possono così constatare i difetti d'omogeneità nelle lastre metalliche.

Le applicazioni della radiografia alla paleontologia, alla botanica e alla zoologia sono evidenti: ma è sopratutto nella medicina e nella chirurgia, che i raggi X hanno trovato numerose applicazioni per lo studio anatomico e per la diagnosi; si è tentato ancora di applicarli a trattamenti terapeutici.

Poichè i raggi X attraversano con facilità il corpo umano, era naturale di ricercare se essi avessero una qualche azione nell'organismo, e se tale azione poteva essere utilizzata in medicina. Sembra non si possa dubitare di un'azione dei nuovi raggi sopra l'organismo umano: un corrispondente del giornale inglese *Nature*, avendo ripetuto molte volte, durante una esposizione a Londra, le principali esperienze sui raggi X, assicura di averne risentito forti inconvenienti. La sua epidermide, quasichè fosse stata affetta da eritema solare, squammandosi si rinnovò più volte; ma il peggio fu che al poveruomo caddero le unghie della mano.

Altre persone hanno parimenti osservato l' infiammazione della pelle prodotta dai nuovi raggi, e la caduta dei peli, ma in casi soltanto di ripetute applicazioni.

Alcuni medici proposero l'uso dei raggi X per modificare lo sviluppo acuto della tubercolosi, ma i risultati non corrisposero alle concepite speranze. Certi altri hanno preteso che i nuovi raggi abbiano un'azione sul cancro dello stomaco, e abbiano il potere di attenuare la virulenza delle tossine prodotte dal bacillo della difterite; ma il professore Sormani, esponendo colture di parecchie specie di microbi all'influenza dei detti raggi, non potè constatare alcun notevole risultato. Gli effetti terapeutici pertanto sono molto discutibili: ma dove l'utilità dei raggi X non può essere revocata in dubbio, è negli studi anatomici, e quando si tratta di stabilire delle diagnosi, specialmente di malattie delle ossa.

Remy e Contremoulins operando su cadaveri iniettati con una soluzione di cera nell'alcool, la quale conteneva in sospensione polveri metalliche finissime, poterono ottenere prove radiografiche, che mostrano il sistema delle arterie fino alle sue più delicate ramificazioni. Si comprende facilmente l' importanza di questo risultato per gli studi anatomici.

Nel caso della frattura delle ossa o della introduzione nelle carni di corpi estranei, la radiografia può offrire indicazioni preziose. Basta per convincersene guardare la figura della tav. XI che mostra una frattura dell'ulna; quella della tav. XII che fa vedere le traccie d'una recente frattura del radio, e l'altra della tav. XIII che mostra la presenza pure nel radio di un corpo estraneo. La radiografia della tav. XIV è quella di una mano edematosa di giovane donna affetta da osteite rarafacente, ed operata dal prof. Panzeri di Milano: si vedono bene l'estremità dell'ulna e del radio tagliate a becco di flauto; e le ossa del carpo furono asportate.

La tav. III, dianzi ricordata, mostra anch'essa ciò che si può sperare nel caso di lesioni poco profonde. Si sa-

peva che un proiettile si trovava nella mano, ma la palpazione la più attenta non aveva rivelato la presenza d'alcun corpo estraneo. La radiografia mostrò invece che ve ne erano due, la palla essendosi forse divisa nel terzo metacarpo. In questo caso l'accidente rimontando a dodici anni prima, non era necessaria alcuna operazione: ma se questa fosse stata necessaria, senza l'esame radiografico, probabilmente si sarebbe tolto un solo dei due frammenti della palla, non potendosi sospettare dell'altro.

Il metodo non è limitato nè a corpi così voluminosi come una palla, nè a parti carnose di piccolo spessore come la mano; col nuovo procedimento si è potuta anche determinare con precisione la posizione esatta d'un ago o d'un pezzetto di vetro in un braccio, in una coscia, ecc.; la radiografia è in ogni caso preziosa nel determinare la natura d'una frattura delle ossa delle braccia o delle gambe.

Per avere la posizione esatta di un corpo estraneo, bisogna prendere, come si è detto al § 88, due prove formanti fra loro un certo angolo; osservandole poi in uno stereoscopio, si ottiene la sensazione del rilievo, che permetterà di apprezzare la giusta posizione del corpo estraneo.

Precisare la presenza di un calcolo in un viscere presenta, com' è evidente, un grande interesse, nel caso che la palpazione o l' esame ottico non lascino sperare alcuna indicazione: il rene e la vescica biliare sono in questo caso. Il rene è relativamente opaco; esso lo è sensibilmente più del muscolo, a causa della presenza di cloruri, fosfati e urati nella sua massa. Ma i calcoli che racchiude sono pure formati da fosfati ed urati con acido urico non disseminati nel resto dell'organo; essi risultano così più opachi del resto del rene, e rivelano la loro presenza con un' ombra più forte. La vescica biliare poi contiene diverse sostanze opache, ma i suoi calcoli sono formati da *colesterina,* sostanza relativamente trasparente, che dà allo spazio occupato dal calcolo l'apparenza d'una cavità.

Le prove tentate per tale esame sugli organismi viventi non hanno però dato sinora alcun risultato, benchè con rocchetti potenti e tubi appropriati si riesca a vedere su uno schermo fluorescente l'intero scheletro del torace, ed anche si possa fissarne l'imagine sulla lastra fotografica: quelle che abbiamo riferito sono dovute a Chappuis, che studiò gli organi togliendoli da animali affetti; esse confermano, se non altro, la osservazione di Meslans sulla trasparenza delle sostanze organiche, e l'opacità che queste acquistano per l'addizione d'una molecola inorganica.

Per facilitare le osservazioni medicali col mezzo dei raggi X si può adoperare una tavola, come quella della

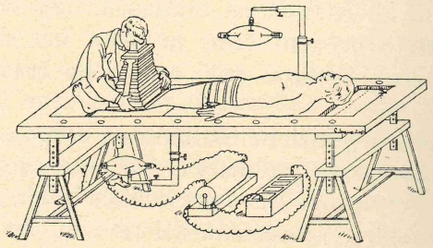


Fig. 156.

fig. 156. Essa, di lunghezza e larghezza convenienti, ha nell'interno delle scanalature, lungo le quali possono scorrere tavolette che, occorrendo, si sostituiscono con telai fotografici. Il tubo di Crookes è sostenuto in modo da poterlo disporre, come meglio si vuole. Per la osservazione col fluoroscopio, il tubo vien posto sotto la tavola; l'osservatore esplora con comodità la parte malata per mezzo dell'istrumento, fatto semplicemente di uno schermo fluorescente che si trova nel fondo di un soffietto, simile a quello di una camera oscura fotografica.

Si vede quanto largo uso, in un avvenire non molto lontano, si farà dei raggi X; si può sin d'ora prevedere che niuna operazione chirurgica d'una certa importanza si eseguirà senza l'impiego della radiografia o del fluoroscopio.

Non solamente nel caso di operazioni chirurgiche, ma ancora quando si tratti di stabilire diagnosi puramente medicali, i raggi X possono fornire de' dati preziosi. Così il dott. Bouchard ha ottenuto indicazioni utili, col mezzo del fluoroscopio, in un caso di spessimento della

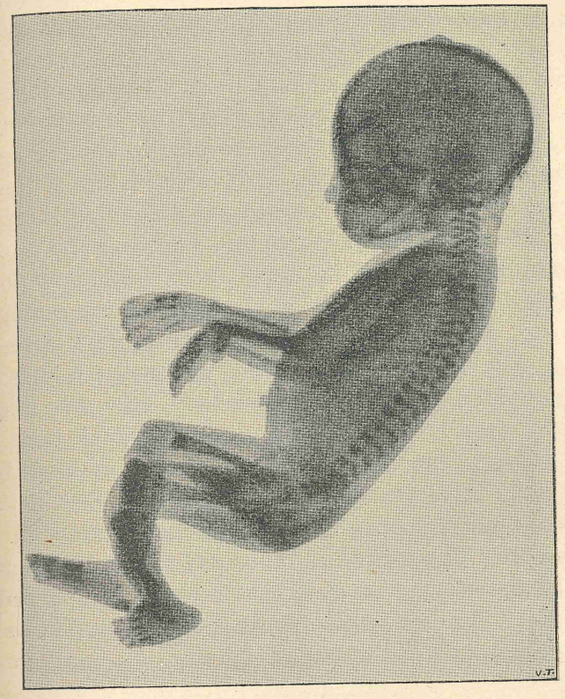


Fig. 157.

pleura; sullo schermo si osservava una macchia oscura dalla parte del polmone malato, macchia dovuta ad un deposito liquido; continuando giornalmente l'osservazione, si vide la macchia farsi a poco a poco più chiara a misura che il riassorbimento progrediva. In un altro ammalato, per il quale l'esame micrografico non aveva fornito alcuna indicazione, lo stesso dottore osservò in pochi giorni prodursi

una opacità, ed in seguito apparvero tutti i sintomi della tubercolosi. Bouchard ha sempre verificato nella esplorazione dei malati di petto la concordanza tra i dati che fornisce la percussione e quelli che dà il fluoroscopio, l'ombra portata sullo schermo indicando in tinte più oscure le regioni ove si constata il male; anzi più volte la radiografia gli ha rivelato affezioni che gli altri mezzi diagnostici erano impotenti a scoprire.

Per le malattie dell'addome però, a cagione della gran massa degli organi e della insufficienza del raggiamento, i raggi X non hanno finora avuto alcuna applicazione.

Si giudicherà d'altronde dei risultati che si possono sperare dai detti raggi, osservando la radiografia della fig. 157, che è quella di un neonato, e l'altra della tav. XV, entrambe ottenute con un tubo focus e con un potente rocchetto di cm. 25 di scintilla. In quest'ultima radiografia le carni di grande spessore sono state perfettamente traversate, e la colonna vertebrale, le coste, le ossa del braccio e delle spalle sono riprodotte con una mirabile nitidezza: essa ha richiesto 30 minuti e più di posa.

È sorprendente il cammino percorso, in così breve tempo, sulla importante quistione dei raggi X e della radiografia. Questi buoni risultati, che sono pieni di liete promesse per una maggiore delucidazione dell'argomento e per le applicazioni, sono dovuti e all'ardore incredibile col quale i fisici ne hanno proseguito lo studio, e alla potenza dei mezzi d'investigazione di cui possono oggi disporre.

BIBLIOGRAFIA.

O. Murani, *Sperimenti sui raggi Röntgen*, luogo citato.

H. Bertin-Sans et A. Imbert, *Photographies obtenues avec les rayons de Röntgen* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 384).

— *Sur la technique de la photographie par les rayons X* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 605, 720).

A. Battelli e A. Garbasso, *Sopra i raggi del Röntgen*, luogo citato.

A. Winkelmann und R. Straubel, *Ueber einige Eigenschaften der Röntgen'schen X-Strahlen-Abdruk aus der Jennischen Zeitschrift für Naturwissenschaft*, luogo citato.

A. Stefanini, *Sulle radiazioni invisibili e sui raggi X* (*N. Cimento*, serie IV, t. IV, luglio 1896).

Basilewski, *Procédé permettant d'abreger le temps de pose pour la photographie aux rayons X* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 720).

A. Róiti, *Atti della R. Acc. de' Lincei*, vol. V, serie V, seduta del 2 febbraio 1896.

J. Chappuis, *Du temps de pose dans les photographies par les rayons X* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 777).

— *Une condition de maximum de puissance des tubes de Crookes*, Ibidem, p. 810.

CAPITOLO X.

FENOMENI DIVERSI. — RAGGI DI BECQUEREL

§ 90. **Scariche elettriche e raggi X.** — Alla scoperta di Röntgen fecero seguito ben presto molti studi diretti a vedere, se i raggi X esistessero nelle radiazioni emesse da altre sorgenti, e potessero quindi essere prodotti indipendentemente dalle scariche nei tubi rarefatti.

Parecchi osservatori come lord Blythswood, G. Moreau ed altri, sono pervenuti ad ottenere fotografie attraverso a corpi opachi per la luce, sostituendo al tubo di Crookes un effluvio elettrico prodotto dalla scarica silenziosa di una bobina, o di una potente macchina elettrostatica a induzione. Moreau impiegava a tale effetto la scarica a fiocchi di una grande bobina, eccitata da una corrente media di 6 ampère: la scarica a pennacchio accadeva fra una punta positiva e un piccolo piatto isolato. La lastra sensibile con l'oggetto da fotografare si trovava nell'interno di una scatola di cartone completamente chiusa, la quale poteva disporsi normalmente o parallelamente all'effluvio.

Nella prima orientazione non si ottenne alcun effetto sensibile, ma nella seconda si ebbero prove nette ed intense, con la posa di circa un'ora.

W. J. Morton crede che raggi di Röntgen debbano accompagnare ogni scarica elettrica, e in particolare quella della bottiglia di Leida. L'autore fa osservare in proposito, che si sono spesso osservate sulla pelle delle persone colpite dalla folgore imagini che riproducevano fedelmente

i contorni di oggetti metallici contenuti nelle vesti, e crede che questi fatti confermino le sue vedute. Guidato da tali idee egli, per produrre raggi di Röntgen, univa le armature interne di due condensatori ai due poli di una potente macchina elettrostatica. L'armatura esterna del condensatore riunito al polo positivo della macchina, era messa in comunicazione con una sferetta metallica rinchiusa in un tubo vuoto: l'armatura esterna dell'altro condensatore era riunita ad una foglia di stagno, incollata sulla superficie esterna del tubo. Quando la macchina è messa in movimento e scintille scoccano tra i suoi poli, nel circuito che riunisce la armature esterne dei condensatori prendono origine, come si sa, delle oscillazioni elettriche, le quali producono nel tubo dei raggi catodici. Prendendo per tubo vuoto una lampada ad incandescenza, la foglia di stagno servente da catodo fa da specchio concavo, e di fronte ad essa il vetro prende una fosforescenza assai viva. L'autore assevera di avere ottenuto con questa disposizione effetti Röntgen assai potenti: le lastre fotografiche e le sostanze fosforescenti potevano risentirne l'azione a distanze considerevoli. Per ottenere delle prove nette, bisognava aumentare la distanza della lastra dal tubo; tuttavia il tempo di posa era relativamente breve.

Quest'altra esperienza di J. Robin e A. Perret mostra che onde elettriche, prodotte fra le armature di un condensatore caricato con una bobina di Ruhmkorff, impressionano anch'esse una lastra fotografica. Una negativa fotografica ed una lastra sensibile sono poste, con la gelatina a contatto, nel fondo di una scatola di cartone ermeticamente chiusa, messa fra due lastre metalliche comunicanti con i poli di una bobina d'induzione, capace di dare scintille di 10 cm. Dopo un tempo di posa di un quarto d'ora circa, la lastra mostra allo sviluppo la riproduzione precisa, con tutti i particolari, della negativa suddetta. La esposizione diminuisce con la rapidità delle scariche della bobina; e, secondo gli autori, avrebbe qualche importanza la natura delle lastre metalliche, fra le quali si

trova la scatola di cartone: il sistema più conveniente è, secondo le loro esperienze, quello formato da una lastra di rame e da una lastra di piombo.

I risultati non sembrano dovuti ad una fosforescenza del *cliché*, poichè gli effetti sarebbero in tal caso molto più lenti; nè alla luce immagazzinata, poichè gli sperimentatori lasciando entro la scatola una lastra e un *cliché* in contatto, senza l'intervento delle onde elettriche, non ottennero alcuna imagine.

§ 91. **La luce nera.** — Il dottore G. Le Bon ha creduto di riconoscere l'esistenza di radiazioni attiniche, capaci di attraversare delle lamine metalliche spesse, nel flusso luminoso d'una lampada a petrolio munita del suo caminetto di vetro. In un telaio fotografico positivo ordinario egli introduceva una lastra sensibile, e al disopra di questa metteva una negativa fotografica qualunque, cui sovrapponeva una lastra di ferro ricoprente interamente la faccia anteriore del telaio. Esponeva indi la lastra sensibile così protetta alla luce di una lampada a petrolio per tre o quattro ore. Sviluppando la lastra sensibile, e spingendo fortemente lo sviluppo, egli osservava un'immagine del *cliché* molto debole, ma abbastanza netta, guardandola per trasparenza.

Modificando poi l'esperienza precedente col porre dietro la lastra sensibile una lamina di piombo, ripiegata nei suoi bordi in modo da coprire leggermente i lati della lastra di ferro, otteneva prove assai migliori. La lastra sensibile e il *cliché* si trovano così imprigionati in una specie di cassa metallica, la cui parte anteriore, quella esposta alla fiamma a petrolio, è formata dalla lastra di ferro, mentre la parte posteriore e quella laterale sono costituite dal piombo. Con tre ore di esposizione alla luce del petrolio si avevano prove distinte.

Senza entrare nelle spiegazioni che il Le Bon dà di questo preteso fenomeno, diremo che anche colla luce solare egli ottenne gli stessi effetti: il cartone e i metalli, e fra questi il ferro e il rame specialmente, sarebbero,

secondo lui, tutti attraversati dalla luce. A queste supposte radiazioni egli diede il nome di LUCE NERA; bisogna convenire che la parola non è la più adatta. Le Bon considera la luce nera come una forma di energia compresa fra l'energia luminosa e l'elettrica, che non è più luce, perchè non ha più che una parte delle sue proprietà e perchè non obbedisce alle leggi della sua propagazione, e non è più elettricità, perchè quest'ultima sotto le forme conosciute non produce gli stessi effetti. Secondo Le Bon, la luce nera deve essere considerata probabilmente come una nuova specie di energia aggiunta al numero ristretto di quelle che già conosciamo. A suo modo di vedere, esistono delle differenze notevoli tra le proprietà dei raggi Röntgen e quelle della luce nera, vale a dire della luce che ha subìto certe modificazioni dopo il suo passaggio attraverso le lamine metalliche. Se i vetri di una stanza sono sostituiti da lastre di rame rosso pulite, l'oscurità è completa, e la camera non conterrebbe più che della luce nera, la quale godrebbe la proprietà di attraversare in diverso grado i corpi opachi.

Mentre i raggi Röntgen attraversano l'ebanite e la carta nera, queste sostanze sarebbero al contrario opache per la luce nera: i raggi X non attraversano il rame e il ferro in lastre di $^1/_2$ mm. di spessore, e la luce nera invece li attraverserebbe. Le sostanze organiche in generale che sono permeabili ai raggi di Röntgen, sarebbero opache per la luce nera. Con i raggi X non si possono fotografare che le ossa; con la luce nera invece, la quale attraversa difficilmente e inegualmente i corpi organizzati, si può, secondo Le Bon, arrivare a fotografare gli strati successivi dei diversi tessuti. Da altre ricerche poi lo stesso autore crede poter dedurre che certi esseri organizzati paiono godere della proprietà di emettere nella oscurità la più profonda radiazioni di luce nera, atte a impressionare le lastre fotografiche. Così egli ha ottenuto la fotografia d'una rana, posta in piena oscurità per due ore sopra una placca sensibile, chiusa in un telaio.

Ora parecchi sperimentatori, come Nodon, G. H. Niewenglowski, M. Antoine, e L. Lumière ripeterono le prove di G. Le Bon, ma non ottennero alcun risultato; anzi, per dir meglio, Niewenglowski sperimentando nell'oscurità, senza alcuna sorgente di luce, ottenne un risultato identico a quello di Le Bon: questa cosa sembra indicare che l'immagine sviluppata sulla lastra sensibile provenga dall'energia luminosa immagazzinata dalla negativa, quando, per averne delle prove positive, venne esposta alla luce. Egli osserva a tale proposito, che se in una camera oscura si pone una lastra sensibile impressionata e non sviluppata a contatto, od anche a piccola distanza, di un'altra lastra sensibile che non abbia punto subìto l'azione della luce, sviluppandole poi, si può ottenere una imagine sopra ciascuna, la seconda essendo più debole della prima.

Niewenglowski spiega le esperienze di Le Bon sulla luce nera, ammettendo che l'annerimento delle lastre sensibili sia dovuto ad un effetto della pressione, oppure ad una semplice azione riduttrice provocata dal contatto del metallo. Quanto alla pressione si sa difatti, che basta porre per qualche tempo un oggetto pesante sopra una lastra sensibile al gelatino bromuro, e di svilupparla in seguito, per ottenere un'imagine dell'oggetto; e se la lastra metallica è posta contro lo strato sensibile, si può attribuire il fenomeno ad una semplice azione riduttrice provocata dal contatto del metallo. Accade difatti che polveri metalliche sulla superficie della carta sensibile producano talora piccole macchie nere, dovute a una riduzione del sale d'argento operata dal metallo. Nel fine di evitare tali cause d'errore, Niewenglowski esponeva la lastra sensibile in una camera oscura fotografica, sostituendo al diaframma dell'obbiettivo un diaframma metallico pieno. Sperimentando con la luce solare diretta e con diaframmi di alluminio, di rame, di zinco, di tenuissimo spessore, con pose brevi e lunghe persino sei ore, egli non ha potuto mai ottenere alcuna imagine, nè la minima traccia di velatura.

Questi resultati negativi sembrerebbero indicare, o che i raggi ai quali Le Bon ha dato il nome di luce nera non esistono, ovvero che essi siano assorbiti dal vetro dell'obbiettivo.

Altri sperimentatori andarono incontro agli stessi insuccessi, ripetendo le esperienze di Le Bon: fra essi citeremo particolarmente i fratelli Lumière, che ne fecero una speciale comunicazione all'Accademia delle Scienze. Questi osservarono, che nelle loro sale oscure di manipolazione delle lastre fotografiche vi sono in diversi punti delle pareti metalliche, sulle quali batte il sole durante intere giornate, eppure non si è mai constatata la minima traccia di penetrazione di radiazioni attive nell'interno. Nondimeno per l'importanza della questione, essi hanno istituito delle prove per ripetere le esperienze di Le Bon, ed eliminando ogni causa possibile di errore, non poterono mai riprodurre gli effetti descritti da questo autore, nè con la luce del sole, nè con quella di sorgenti artificiali. Ripeterono anche l'esperimento della lastra di rame e della lastra di piombo, ma prendendo le più minute precauzioni per evitare la penetrazione della luce per i fianchi e per le fessure del telaio, ed evitando ogni diffusione possibile, essi non poterono constatare alcuna penetrazione di raggi suscettibili di agire sul bromuro d'argento.

D'altra parte il Dott. Armaignac a Bordeaux, e Murat ad Havre affermano di aver potuto ripetere le esperienze di Le Bon. Il modo di sperimentare di Murat è il seguente: in un telaio fatto per ottenere le prove fotografiche positive, egli sostituisce il vetro che fa da supporto con una foglia di rame rosso, e intercala l'oggetto opaco da fotografare tra due lastre sensibili ordinarie, in modo che le faccie con la gelatina siano di fronte: si colloca ogni cosa sopra la foglia di rame rosso, e si ricopre con una foglia di piombo. Poi, poste a contatto le due foglie metalliche, si chiude il coperchio del telaio in modo da costituire una scatola chiusa ermeticamente, la quale

non lascia passare alcun raggio luminoso. Dopo un'esposizione più o meno lunga, sia alla luce del sole, sia ad una luce diffusa o ad altra luce artificiale, si procede allo sviluppo delle lastre secondo i mezzi ordinari. Con questo procedimento Murat dice di avere ottenuto una serie di fotografie ben riuscite.

Come si vede, i diversi risultati sono contraddittori, e la questione merita ancora di essere studiata. Noi osserveremo che quando si pensa all'estrema facilità con la quale il sale aloide d'argento delle lastre fotografiche si altera, non soltanto sotto l'azione della luce, ma ancora per l'influenza di un gran numero di agenti fisici e chimici, si comprende quanto sia difficile dedurre conclusioni da esperienze basate su tali modificazioni. Una pressione esercitata su d'una lastra fotografica dà, come si è detto, un'impressione che può divenire intensa con lo sviluppo. Il contatto di un gran numero di corpi basta per determinare la riduzione del bromuro d'argento. E, d'altra parte, la cattiva chiusura dei telai fotografici, le riflessioni successive di qualche raggio che può penetrarvi, sono cause frequenti di errori nelle esperienze di questo genere. Evitando la pressione degli oggetti, il loro contatto intimo con lo strato sensibile, ed ogni altra azione dei raggi luminosi propriamente detti e di quelli calorifici, i fratelli Lumière ed altri, come per esempio il Battelli, non hanno mai potuto constatare alcuna impressione attraverso a foglie metalliche sottili, adoperando come sorgenti il sole, l'arco voltaico, il becco Auer, una lampada a petrolio, ecc. Dall'insieme di queste numerose prove si vede come i più seri dubbi sorgano intorno alla esistenza del fenomeno di Le Bon.

§ 92. **Le fiamme e i raggi X.** — Il Prof. Martinotti di Urbino crede di aver trovato i raggi X anche nelle fiamme ricche di raggi ultravioletti, come quelle del solfuro di carbonio e dello zolfo. Queste esperienze appoggerebbero le idee esposte in recenti pubblicazioni dal Glan sulla teoria elastica della luce, e dal Maltézos sulle radiazioni iper-ultraviolette.

Il Glan, calcolato il coefficiente di estinzione dei raggi ultravioletti aventi una lunghezza d'onda $\lambda = \frac{5}{1000000}$ di cm., trova che essi dovrebbero attraversare i diversi corpi opachi o trasparenti, come per esempio il legno, le carni, le ossa, il vetro, ecc. ecc. allo stesso modo dei raggi del Röntgen; e il Maltézos osserva che per le radiazioni, che al limite hanno una lunghezza d'onda uguale a zero, l'assorbimento deve essere estremamente piccolo.

Il Prof. Stefanini ripetè le prove del Martinotti colla luce del solfuro di carbonio, ponendo le lastre sensibili in buste di cartone coperte di carta nera a più doppi; ma i risultati furono negativi, poichè sviluppando le lastre, non appariva alcuna traccia di una rete metallica che egli poneva sopra la busta, neppure spingendo lo sviluppo: di poi, variando l'esperienza col porre disegni ritagliati in fogli di stagnola e di alluminio direttamente sopra la pellicola sensibile, tali disegni erano riprodotti con maggiore o minore intensità quando si esponeva ogni cosa, come prima, alla luce del solfuro di carbonio, e le fotografie avevano l'aspetto di quelle ottenute coi raggi del Röntgen. Facendo così l'esperienza, notò però un fatto singolare: diverse striscioline di carta velina interposte tra gli oggetti metallici e la pellicola, producevano un'ombra molto evidente: la carta gialla dava un'ombra forte, la carta velina nera proteggeva assolutamente la pellicola. Appariva pertanto questo fatto strano che un sol foglio di carta velina nera, posta fra il reticolato e la pellicola, intercettava le radiazioni della fiamma, le quali prima di giungere ad essa avrebbero potuto attraversare uno strato di legno di 3 mm. di spessore: tale osservazione fece dubitare allo Stefanini che le azioni osservate non derivassero dai raggi X. Il dubbio veniva più avvalorato dal fatto che si ottenevano i medesimi risultati, sia tenendo la lastra, protetta nel modo suddetto, in una stufa a 42°, ed escludendo così ogni radiazione luminosa; sia eliminando il riscaldamento della lastra nel tempo che era esposta alla fiamma, con una corrente di aria fredda; sia ancora esponendo la lastra al sole, mentre concordi esperienze provano che una scatola di cartone ricoperto di carta nera trattiene assolutamente ogni radiazione solare.

Dopo parecchie prove, lo Stefanini potè accertarsi che le impressioni suddette dipendevano dalle manipolazioni che subiva la lastra fotografica nella camera oscura, prima di essere esposta all'azione fotografica. Per mettere il reticolato a posto sopra alla lastra, e per assicurarsi che tutto fosse in ordine, egli la guardava per pochi secondi alla luce rossa della lanterna: era a quella luce, che si dovevano le deboli impressioni dette dianzi. Ed infatti esponendo per poco tempo la lastra fotografica coperta dal reticolato suddetto alla luce rossa della lanterna, e poi sviluppandola subito, essa mostrò lo stesso preciso aspetto di quando era stata esposta alla fiamma del solfuro di carbonio; mentre altre lastre, preparate allo stesso modo col reticolato e non esposte punto alla luce rossa nella camera oscura, tenute poi davanti alla fiamma del solfuro di carbonio per parecchie ore, non hanno mai mostrato alcuna traccia di impressione. Inoltre oggetti posti al di fuori della scatola di cartone o del telaio fotografico non danno mai, nelle condizioni suddette, alcuna ombra sulla lastra; sorge quindi il dubbio che il risultato annunziato dal Martinotti possa esser dovuto a qualche causa d'errore analoga a quella detta dianzi, e non si possa concludere che nelle sorgenti luminose fin qui studiate si trovino raggi X. L'impressione di una moneta ottenuta dal Saccenders con la luce del magnesio, si deve attribuire molto probabilmente alla pressione; e quella della figura ritagliata da un foglio di carta, ottenuta nell'oscurità dal Briançon, è forse dovuta alla medesima causa di errore sopra indicata, cioè alla luce rossa della lanterna posta nel gabinetto fotografico.

Nè origine diversa da quella della pressione, deve attribuirsi all'impressione di una lastra di ferro, tenuta a diretto contatto della pellicola sensibile, la quale fu ottenuta

da J. Hart Robertson colla luce dell'arco voltaico. Quest'arco difatti, prodotto nell'aria, non emette raggi X, come lo provano molte dirette esperienze, fra le quali ricorderemo quelle del Nodon. Una lastra sensibile al gelatino bromuro d'argento, involta in parecchi doppi di carta nera opaca alla luce, venne esposta alle radiazioni dirette di un arco di 20 ampère, a piccola distanza e per un tempo sufficiente; la lastra allo sviluppo non mostrò alcuna impressione, mentre nelle stesse circostanze era nettamente impressionata dai raggi X. Tale risultato sembra vieppiù dimostrare che le radiazioni ultraviolette, di cui l'arco è ricco, non attraversano sensibilmente i corpi opachi. E neppure la luce solare sembra contenere raggi X, perchè lastre sensibili protette nel solito modo ed esposte alla luce diretta del sole non hanno mai mostrato la benchè minima velatura allo sviluppo. Si sarebbe potuto dubitare che gli strati più bassi dell'atmosfera potessero assorbire i raggi X contenuti nella luce solare; ma esperienze eseguite sopra alte montagne hanno dato pure risultati negativi. Dobbiamo dunque concludere che finora non si sanno produrre in modo certo raggi X, se non nel modo scoperto dal Röntgen, vale a dire col mezzo delle scariche elettriche nei tubi rarefatti; poichè le numerose esperienze eseguite nell'intento di ricercare nuovi mezzi di impressionare le lastre fotografiche attraverso a corpi opachi, se rettamente interpretate, conducono a risultati negativi.

§ 93. **Cause diverse che impressionano le lastre fotografiche.** – Diverse pertanto sono le cause che possono impressionare le lastre fotografiche; esse possono distinguersi in meccaniche, chimiche, calorifiche e luminose; e vi si potrà aggiungere l'azione elettrica, quando si sarà constatata la sua influenza diretta senza trasformazioni, che riconducano il suo effetto ad uno dei precedenti. Bisognerà poi classificare a parte i raggi X, nell'attesa che sia chiarito il modo della loro azione: in verità l'azione attinica, variando di intensità colla lunghezza d'onda del raggio che la esercita, non può essere considerata che come un

fenomeno di risonanza, il quale pertanto dovrebbe mancare quando mancano raggi di periodo conveniente. Ora si comprende difficilmente come i raggi X possano impressionare le lastre fotografiche, ma vi è modo di ovviare, come si è detto (§ 59) alla difficoltà, immaginando che i raggi X eccitino la fluorescenza del vetro e della gelatina delle lastre sensibili: sarebbe poi la luce così destata che impressionerebbe la lastra fotografica. Il Röntgen stesso accenna, nella sua prima memoria, alla possibilità di questa spiegazione (§ 44).

Le azioni meccaniche consistono in pressioni o sfregamenti esercitati da corpi duri in contatto con lo strato sensibile, che, allo sviluppo, producono dei tratti neri.

Le azioni chimiche provengono dal contatto di corpi capaci di ridurre il sale aloide d'argento, sopratutto quando l'umidità interviene: p. es. l'umidità che proviene dallo scaldamento di un cliché posto a contatto della lastra, può contenere proporzioni variabili dell'AGENTE RIVELATORE, ossia della sostanza adoperata a compiere la riduzione dell'argento iniziata dalla luce e a sviluppare l'imagine; ed anche può contenere traccie dell'iposolfito di sodio adoperato a fissare l'imagine, cioè a sciogliere il bromuro d'argento ancora indecomposto. Inoltre un'influenza chimica può essere esercitata anche diversamente: Colson, per esempio, ha constatato che lo zinco esercita sul gelatino bromuro un'azione energica. Se si pulisce con carta smerigliata, in parte, una lastra di zinco leggermente ossidata alla superficie, e la si mette a contatto con una lastra sensibile per parecchie ore, quando si sviluppa, appare una tinta d'un grigio cupo di fronte alla parte pulita, e una tinta d'un grigio più chiaro nelle parti meno pulite, mentre non si produce nulla di rimpetto alle parti ossidate. Tale azione si manifesta anche a distanza, e attraverso a certi corpi. Con numerose esperienze il Colson dimostrò che l'effetto è dovuto, non ad una radiazione, ma ad una emanazione formata dal vapore di zinco. Tale emanazione diminuisce lentamente a mano a mano che la

superficie del metallo si ossida, ma la pulitura le restituisce tutta la sua energia; l'intensità non aumenta esponendo la lastra metallica al sole. D'altronde l'esperienza non riesce con carte sensibili al cloruro o al nitrato di argento, nè con quelle al bicromato di potassio, ecc., ecc.: è dunque probabile che il vapore di zinco inizii soltanto la riduzione del bromuro d'argento, che poi è completata dall'agente rivelatore. Questo vapore traversa facilmente fino a tre strati di carta comune, mentre la carta nera è poco permeabile: i metalli, il vetro, la gomma in generale, i corpi compatti formano ostacolo; l'inchiostro di stamperia secco è permeabile, mentre l'inchiostro da scrivere non lo è punto, senza dubbio a causa della gomma e dei cristalli che esso contiene. Se una lastra si chiude per quarant'otto ore in una scatola, insieme a una foglia di zinco pulita e collocata in modo che il suo vapore possa agire sulla pellicola sensibile, non direttamente ma per diffusione, si osserva indi allo sviluppo una velatura ben distinta, e soltanto le parti che erano state protette con corpi impermeabili risultano intatte.

Demaçay aveva mostrato la vaporizzazione nel vuoto di parecchi metalli, a temperature relativamente basse; oggi, in grazia dell'estrema sensibilità delle lastre secche fotografiche, è resa manifestà la produzione del vapore di zinco, alla pressione e temperatura ordinarie.

Si vede così che è bene di escludere lo zinco dalle scatole *chassis* e dagli apparecchi fotografici; ovvero, volendolo impiegare, è necessario ricoprirlo con corpi impermeabili compatti, come la carta nera.

Il magnesio e il cadmio danno gli stessi effetti dello zinco; al contrario il piombo, il rame, il ferro e l'alluminio sono inattivi. — Il Pellat conferma questi sperimenti del Colson, non solo con prove fotografiche, ma con osservazioni elettriche dirette a misurare la differenza di potenziale apparente dei due metalli in contatto, dalle quali risulta che la più parte di questi emettono alla temperatura ordinaria dei vapori.

Sono curiose esperienze, ma evidenti: bisogna tenerne conto nella fotografia attraverso a corpi opachi. Un dubbio potrebbe sorgere intorno alla spiegazione del fatto dopo la notevole scoperta di Becquerel (§ 94): si potrebbe cioè pensare che questi effetti non fossero punto dovuti alle azioni chimiche dei vapori metallici suddetti, sibbene a radiazioni invisibili emesse da questi corpi, analoghe o identiche a quelle dell'uranio. Si potrebbe verificare la cosa ponendo alcuni pezzi di questi metalli in tubetti di vetro, ermeticamente chiusi con lastrine coprioggetti da microscopio, come fa Becquerel.

Ma tornando alle altre azioni capaci di determinare il lavoro preliminare, che il rivelatore completa di poi annerendo la lastra, diremo che fra esse deve annoverarsi anche il calore. Sulle parti della lastra, rese umide dal vapore emesso dalla carta che l'involge e dal vapore prodotto dalla gelatina e imprigionato tra la pellicola sensibile e la superficie d'un corpo che parzialmente la ricopre, il calore produce una modificazione che lascia queste parti in chiaro quando si sviluppa. Tale influenza è importante, perchè si manifesta in un gran numero di casi, con la luce solare e con le sorgenti luminose a combustione.

Bisogna inoltre ricordare che la lastra ha la proprietà di accumulare gli effetti successivi, mentre l'occhio si satura in una frazione di secondo: così accade talora che i raggi luminosi possano con il tempo impressionare la lastra attraverso a corpi che noi diciamo opachi. Cornu, per esempio, ha mostrato, fino dal 1880, che è possibile osservare per fluorescenza radiazioni ultraviolette fortemente rifrangibili attraverso ad una lamina di argento deposto chimicamente, abbastanza spessa per arrestare i raggi del sole. De Chardonnet ha utilizzato questa proprietà dell'argento per fotografare oggetti ritenuti in apparenza invisibili, ed è probabile che tali raggi attraversino un gran numero di sostanze opache (§ 85): ma sia che agiscano direttamente, o per mezzo dei corpi fosforescenti e fluore-

scenti, il loro effetto consiste sempre nell'annerimento della lastra, quando la si sviluppa. Pertanto, quando si esperimenta con i raggi X, una cosa chiara è questa, che bisogna non solo coprire la lastra con due o tre involti di carta nera, ma porla anche nell'interno di una di quelle scatole di cartone con le quali le lastre sensibili vengono poste in commercio: per tenere la lastra vicina al coperchio, colla faccia sensibile rivolta verso di questo, si rialza il fondo della scatola con una tavoletta di legno, come si è detto; si evitano così molto semplicemente tutte quelle cause di errore ora ricordate.

§ 94. **Raggi Becquerel.** — La scoperta dei raggi X ha dato luogo, come si vede, ad una infinità di esperienze diverse, e ha messo Becquerel sulla via della scoperta di nuove radiazioni invisibili (§ 52), suscettibili di attraversare anch'esse un gran numero di sostanze opache per la luce: le quali però si distinguono dai raggi X, per la loro proprietà di rifrangersi e di polarizzarsi nettamente.

Ricordiamo (§ 52) che prima l'Henry aveva trovato, che la luce solare direttamente non attraversa la carta nera, ma che l'attraversa dopo esser passata per uno strato di solfuro di zinco fosforescente. D'altra parte il Niewenglowski aveva riconosciuto che il solfuro di calcio fosforescente del commercio emetteva radiazioni capaci d'attraversare i corpi opachi. E mentre Becquerel mostrava che questo fatto si estende in particolare ai sali d'uranio, la cui fosforescenza è di brevissima durata, d'Arsonval ritenne che tutti i corpi che emettono per fosforescenza della luce giallo verdastra, possono produrre radiazioni capaci di penetrare i corpi opachi, le quali, secondo l'opinione di Poincaré, non sarebbero altro che raggi X. Abbiamo veduto che questa asserzione del d'Arsonval per lo meno non è generale; e vogliamo anche ricordare che il Troost avrebbe trovato che la blenda esagonale, illuminata dalla luce del magnesio, emette radiazioni capaci d'attraversare molti corpi opachi.

Lasciando da parte tutte queste esperienze che hanno dato luogo a risultati contradditori, a seconda delle differenti specie di sostanze fosforescenti e delle condizioni sperimentali, una cosa però sembra fuori di dubbio, ed è che certe sostanze, come l'*uranio* e i suoi sali studiati dal Becquerel, hanno la proprietà d'emettere raggi capaci di scaricare i corpi elettrizzati, di attraversare molti corpi opachi per i raggi X, fra i quali alcuni metalli. Con una lastrina sottile e trasparente di solfato doppio di uranile e di potassio, Becquerel ha potuto difatti fare l'esperienza seguente: se su di una lastra fotografica Lumière al gelatino bromuro d'argento, involta in due fogli di carta nera bene spessa, talchè sia esclusa ogni azione diretta dei raggi della luce solare, si posa all'esterno una lastrina della sostanza fosforescente suddetta e si espone tutto al sole per parecchie ore, si vede allo sviluppo la imagine della sostanza fosforescente apparire in nero. La stessa esperienza riesce ancora sostituendo alla carta nera una lastra sottile d'alluminio. Se tra la sostanza fosforescente e la carta si pone una lastra traforata metallica, se ne ottiene parimenti l'imagine. L'esperienza riesce pure ponendo fra la sostanza fosforescente e la carta una lastrina sottile di vetro, il che esclude la possibilità che l'imagine sia dovuta ad una azione chimica prodotta dai vapori che potrebbero emanare dalla sostanza riscaldata dai raggi solari (§ 93). Si può pertanto affermare che la sostanza fosforescente impiegata, emette radiazioni capaci d'attraversare la carta nera opaca alla luce, ovvero una lastra d'alluminio, e di impressionare i sali d'argento. Si osservano gli stessi fenomeni quando la sostanza fosforescente è illuminata dalla luce riflessa da uno specchio metallico, e poi rifratta da un prisma e da una lente di quarzo.

La fosforescenza del solfato doppio d'uranile e di potassio non dura più d'un centesimo di secondo: da ciò si potrebbe arguire che sia necessario d'illuminare costantemente il sale d'uranio per eccitarlo a emettere le radiazioni invisibili attive; ma la cosa non è così, e le stesse sostanze cristalline, poste di fronte alle lastre fotografiche nelle medesime condizioni e attraverso i medesimi schermi,

ma al coperto dell'eccitazione de' raggi incidenti e mantenute nell'oscurità, producono ancora le medesime impressioni fotografiche. Ponendo difatti in una scatola di cartone e in una camera oscura una lastra sensibile ed una laminetta convessa del sale d'uranio, che toccava lo strato sensibile solamente in qualche punto, con lo sviluppo la lastra presentava in nero la imagine del cristallo attivo, allo stesso modo di quando questo era illuminato direttamente. Altri cristalli del sale d'uranio suddetto, separati dalla superficie sensibile col mezzo di una lastrina sottile di vetro o di una foglia pur sottile d'alluminio, hanno dato, sebbene più debolmente, i medesimi risultati. Queste radiazioni di Becquerel, che producono effetti analoghi a quelli dei raggi di Lenard e di Röntgen, sono pertanto radiazioni invisibili emesse per fosforescenza, la cui durata d'emissione supera di gran lunga quella delle radiazioni luminose dello stesso corpo.

Becquerel tenne nell'oscurità per lungo tempo laminette cristalline di diversi composti d'uranio, come solfati doppi d'uranile e di potassio, di sodio, d'ammonio, ed anche un cristallo di nitrato d'uranio, dopo che erano stati per lungo tempo immersi nella luce diffusa. E attraverso una lastrina di vetro di $0^{mm},2$ di spessore, con un tempo di posa di due o tre giorni, constatò sempre, sperimentando come s'è detto, azioni ben distinte. Siffatte sostanze, così mantenute nell'oscurità per più di 160 ore, non hanno mostrato un indebolimento sensibile della loro attività; anzi alcune, persino dopo due mesi, hanno fornito impressioni intense come il primo giorno.

Inoltre dalle esperienze di Becquerel parrebbe che la temperatura precipiti l'emissione delle radiazioni invisibili, come quella delle radiazioni luminose; la qual cosa, secondo il chiaro fisico, spiegherebbe il fatto che i solfuri di calcio dalla fosforescenza celeste, i quali preparati di fresco danno forti impressioni anche attraverso a lamine d'alluminio di due millimetri di spessore, si esauriscono presto con il tempo e diventano inattivi (§ 52). Lo stesso secondo Troost farebbe la blenda esagonale.

La persistenza dell'emissione operata dai sali d'uranio mantenuti nell'oscurità, rende difficile lo studio dell'eccitamento prodotto su essi da raggi determinati; però nè la luce del magnesio, nè l'irraggiamento d'un tubo di Crookes per il quale il sale d'uranio è opaco, aumentano punto l'intensità d'emissione delle radiazioni invisibili attive. Ma se s'illuminano vivamente le laminette del solfato doppio d'uranile e di potassio, sia con la luce del sole, sia con l'arco elettrico, o colle scintille brillanti della scarica di una bottiglia di Leida, le impressioni che s'ottengono poi sono più forti. Il fenomeno pare dunque dovuto alla fosforescenza invisibile, e non pare intimamente legato alla fosforescenza o fluorescenza visibile: i sali uranosi, per esempio, che non sono nè fosforescenti, nè fluorescenti, agiscono bene come i sali uranici.

Tutti i sali di uranio, fosforescenti o no per la luce, cristallizzati, fusi o disciolti, sperimentati da Becquerel, hanno dato dei risultati analoghi; onde era naturale il pensiero che l'effetto loro fosse dovuto alla presenza dell'elemento uranio in tai sali, e che il metallo esercitasse delle azioni più intense ancora de' suoi composti. L'esperimento fatto con dell'uranio in polvere, ha confermato tale previsione: l'effetto fotografico è in realtà notevolmente più intenso che con i sali del detto metallo. Ripetendo di poi le esperienze con dell'uranio cristallizzato o fuso fornitogli dal Moissan, Becquerel ha osservato impressioni fotografiche attraverso alla carta nera, molto più nette e più intense di quelle date dal solfato doppio, posto sulla lastra come testimonio. La stessa differenza si riscontra nel fenomeno della scarica dei corpi elettrizzati: l'uranio metallico provoca la dissipazione della carica con una velocità maggiore de' suoi sali, e dalle misure risulta propriamente che il rapporto delle velocità suddette, corrispondente all'uranio e al solfato doppio, è circa quadruplo.

Questo fenomeno dell'emissione di raggi invisibili, atti a impressionare le lastre fotografiche, e a scaricare corpi

elettrizzati, per parte dell'uranio, è di un grande interesse scientifico; è il primo esempio d'un metallo che presenti il fenomeno della fosforescenza invisibile.

I raggi di Becquerel, così li diremo, godono come i raggi ultravioletti e i raggi X, in minor grado però a cagione della loro debole intensità, la proprietà di scaricare i corpi elettrizzati. L'esperienza può farsi con l'elettroscopio di Hurmuzescu (fig. 108): ricordiamo che questo elettroscopio è protetto contro le influenze elettriche esterne da una cassa metallica comunicante con il suolo, e contro le radiazioni ultra violette da vetri gialli: esso può tenere una carica per più mesi, tanto è diligentemente isolato. Se si sostituisce uno dei vetri gialli della cassa dell'elettroscopio con una sottile lastrina di alluminio (spessore $0^{mm},12$), e contro di questa si applica all'esterno una laminetta della sostanza attiva, si osserva che le foglie cadono con una certa prestezza: una divergenza iniziale di 18°, che nelle condizioni ordinarie non scompare in parecchi giorni, si annulla invece, sotto l'azione de' raggi Becquerel, in poche ore. La scarica poi diventa più rapida ancora, se la sostanza attiva è posta nell'interno dell'elettroscopio, al di sotto delle foglie d'oro. Così una lamella di solfato d'uranile e potassio, che agendo esternamente faceva scomparire una divergenza iniziale di 12° in un'ora e quarantotto minuti, era capace di dissipare la stessa carica in venticinque minuti, quand'era nell'interno. La dissipazione avviene poi allo stesso modo, per le cariche positive e per quelle negative; e in ogni caso si osserva che, quando la divergenza non eccede i 30°, le variazioni angolari sono sensibilmente proporzionali ai tempi; di guisa che la velocità con cui le foglie si avvicinano in un secondo, può dare un'idea della intensità delle radiazioni attive.

L'aria assorbe un poco le radiazioni Becquerel; laminette di solfato doppio di uranile e di potassio, distanti da 0 a 3 millim. dalla lastra sensibile, danno infatti impressioni un po' più intense nell'aria rarefatta che nell'aria alla pressione ordinaria.

Si può studiare l'assorbimento di queste radiazioni operato da solidi e da liquidi, ponendo, come si fa per studiare l'assorbimento delle sostanze pe' raggi X, sovra una stessa lastra fotografica lastrine di queste sostanze, ovvero tubi piccoli e piatti pieni di liquidi, e coprendoli con una laminetta del solfato suddetto di uranile e potassio o di qualunque altro sale di uranio. Becquerel ha così paragonato, sotto uno spessore comune di 2 millim., parecchie sostanze solide e liquide. L'acqua è molto trasparente; la maggior parte delle soluzioni, comprese quelle de' sali metallici nitrato di rame, cloruro di oro, nitrato d'uranio; la soluzione alcoolica di clorofilla, si sono mostrate pur trasparenti. Lo stesso è della paraffina, della cera; il vetro di uranio e un vetro rosso per trasparenza sono invece quasi opachi; anche l'alluminio, sotto il detto spessore, è poco trasparente; e lo stesso dicasi dello stagno e di un vetro bleu di cobalto, il quale anzi si è mostrato più opaco de' due metalli suddetti. Altre prove dimostrarono che il solfo natio è trasparente, e che lo spato e il quarzo al contrario lo sono pochissimo.

Le stesse misure relative possono essere istituite con il metodo elettroscopico, analogamente a quanto si fa con i raggi X; basta a tal'uopo chiudere la finestra della cassa dell'istrumento con una lastrina della sostanza che si vuole sperimentare. Così si vede che gli schermi di platino e di rame, dello spessore di $1^{mm},4$, mentre arrestano i raggi X, lasciano ancora passare i raggi Becquerel: l'alluminio e il rame si equivalgono. Si può inoltre con il metodo elettrico stabilire confronti fra l'efficacia de' primi raggi e de' secondi: il quarzo, per esempio, assorbe più quelli che questi. Quando si fa agire un tubo di Crookes sulle foglie d'oro di un elettroscopio, una lastra di alluminio di $0^{mm},10$ di spessore lascia passare un raggiamento intenso, e la caduta delle foglie succede in pochi secondi: se s'interpone invece una lastra di rame dello stesso spessore, le foglie d'oro cessano di avvicinarsi, o, tutto al più, si avvicinano con estrema lentezza: il platino è ancora più

opaco del rame pe' raggi X. Ma la bisogna procede altrimenti per questi corpi con i raggi emessi dai sali di uranio; questi attraversano il rame e il platino in una proporzione maggiore. L'esperienze di Becquerel erano così condotte: una laminetta del solito solfato doppio di uranile e di potassio era posta a 2^{cm} di distanza circa, al disotto delle foglie d'oro dell'elettroscopio: si misurava il tempo impiegato nella dispersione, e quando la laminetta attiva agiva sola, e quando si interponevano sia successivamente, sia simultaneamente schermi formati da lastrine di alluminio, rame e platino. La lastrina di alluminio era spessa $0^{mm},10$; la lastrina di rame $0^{mm},09$ e quella di platino $0^{mm},035$. Le azioni erano misurate per mezzo della velocità della caduta delle foglie, ossia per la frazione di grado di cui il loro angolo diminuiva in un secondo: ricordiamo che questa diminuzione è sensibilmente proporzionale ai tempi. I numeri seguenti esprimono la velocità in secondi di angolo e in secondi di tempo.

Qualità degli schermi	Velocità della caduta delle foglie d'oro
Nessuno schermo	38,10
Schermo di alluminio	9,42
„ di rame	11,40
„ di platino	9,60
„ di platino e alluminio sovraposti	6,53
„ di alluminio e rame sovraposti	7,44
Senza schermi (il giorno dopo)	33,00

Si vede che il rame e l'alluminio esercitano presso a poco il medesimo assorbimento sotto lo stesso spessore, e che il platino assorbe un po' più.

L'assorbimento degli schermi metallici di rame e di alluminio, o di platino e di alluminio sovrapposti, risulta minore della somma degli effetti dovuti a ciascuno di essi, presi separatamente, come accade ne' fenomeni di termocrosi del Melloni, e in quelli di criptocrosi con i raggi X, messi in chiaro dal Ròiti, da Hurmuzescu e Benoist (§ 58). I raggi emessi dalle laminette cristalline de' sali di uranio non sono dunque omogenei.

Becquerel per mostrare la regolare riflessione di detti raggi, pose una laminetta della sostanza attiva sopra la pellicola sensibile di una lastra fotografica, e coperse una metà della lamella con uno specchio di acciaio, che volgeva a questa e alla pellicola sensibile la sua faccia pulita. Avendo sviluppata la lastra dopo cinquantacinque ore, ottenne una imagine assai forte, con orli netti, nella metà in corrispondenza allo specchio, e più debole e diffusa nell'altra metà, come se una seconda laminetta attiva, imagine della prima, avesse sovrapposto la sua azione.

Becquerel ha di poi impiegato allo stesso intento uno specchio emisferico incavato in un pezzo di stagno; poneva nel piano focale una laminetta attiva, un' estremità della quale foggiata a triangolo ricopriva un settore della base della calotta sferica, e collocava ogni cosa sopra una lastra fotografica, con la concavità dello specchio volta verso di questa, mentre un pezzetto di carta nera separava la sostanza attiva dalla lastra sensibile. Dopo quarantasei ore, sviluppando la lastra, si otteneva una imagine, nella quale la parte triangolare era circondata da un cerchio oscuro, a contorni assai precisi, dovuti a radiazioni riflesse dallo specchio in direzioni pressochè parallele.

L' autore ha anche osservato la rifrazione di questi raggi: a tale uopo, su una faccia di un prisma di crown, a pochi millimetri dallo spigolo, egli fissava parallelamente a questo un piccolo tubo di vetro a pareti sottili, di 1^{mm} circa di diametro, riempiuto di nitrato di uranio cristallizzato: si aveva così una sorgente lineare di emissione delle radiazioni invisibili. Applicando allora l'altra faccia del prisma sulla lastra fotografica, e sviluppando tre giorni dopo, Becquerel ha riconosciuto una impressione diffusa, separata dalla traccia dello spigolo da una linea bianca; la deviazione era dell'ordine di grandezza delle deviazioni de' raggi luminosi. Una difficoltà grande di tali sperimenti è la estrema debolezza delle radiazioni, cosicchè gli effetti diventano incerti non sì tosto le sorgenti si allontanano dalla lastra sensibile.

Lo stesso fisico ha anche osservato fenomeni di riflessione totale; ma noi chiuderemo questo riassunto già lungo con le esperienze, ben più interessanti, sulla polarizzazione di tali raggi, il che costituisce una notevole differenza fra essi e i raggi X. Per la polarizzazione, la esperienza era fatta con una lastrina sottile di tormalina parallella all'asse e di $0^{mm},5$ di spessore, divisa in due metà. Le due metà, a fianco l'una dall'altra con gli assi ortogonali, furono poste sovra un'altra tormalina di $0^{mm},88$ di spessore, in modo che l'asse di una delle due metà suddette risultasse parallelo all'asse di quest'ultima, e l'altro normale. In tali condizioni la luce ordinaria è trasmessa attraverso alle due tormaline di cui gli assi sono paralleli, ed è intercettata dalle altre due (§ 15). L'insieme di queste tormaline venne collocato sopra una lastra fotografica involta con carta nera, e su esso si pose una laminetta di solfato doppio uranico potassico: la lastra sviluppata dopo sessanta ore, ha mostrato nettamente la imagine delle tormaline, e la impressione era molto più forte in corrispondenza alle due con gli assi paralleli. Ma attraverso alle due metà del sistema suddetto di tormaline lo spessore è lo stesso; la differenza delle impressioni dinota dunque nel medesimo tempo la doppia rifrazione de' raggi Becquerel, la polarizzazione de' due raggi, e il dicroismo, ossia il diverso assorbimento loro attraverso la tormalina.

Questa esperienza prova che i raggi Becquerel, emessi dai sali di uranio, sono legati a un vettore trasversale: essi dunque consistono in vibrazioni eteree trasversali, come la luce; sono probabilmente raggi che hanno il loro posto nello spettro al di là de' raggi ultra violetti finora conosciuti.

Ricordiamo ora che la stessa esperienza, ripetuta con i raggi X, ha dato al contrario un risultato negativo: due tormaline lasciano egualmente passare questi ultimi raggi, tanto se disposte con gli assi paralleli, quanto con gli assi incrociati (§ 50). Questo risultato, segnalato già da Röntgen, il quale è d'accordo con l'assenza di sensibile rifrazione, lascia aperta la quistione sulla natura de' raggi di Röntgen.

FINE.

BIBLIOGRAFIA.

G. Moreau, *De la photographie des objets métalliques à travers les corps opaques au moyen d'une aigrette d'une bobine d'induction, sans tube de Crookes* (*Ecl. élect.*, t. VI, p. 310).

W. J. Morton, *Photographie des objets invisibles sans tube de Crookes* (*Ecl. élect.*, t. VI, p. 500).

G. Vicentini e G. Pacher, *Fotografie prodotte attraverso a corpi opachi da scintille elettriche* (*N. Cimento*, serie IV, t. III, p. 230).

G. Le-Bon, *La lumière noire* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 188).

G. H. Niewenglowski, *Observations à propos d'une note de G. Le Bon sur la lumière noire* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 232; *Ecl. élect.*, tom. VI, p. 418).

A. et L. Lumière, *Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 382, 463.

G. Martinotti, *Studi sui raggi Röntgen* (*N. Cimento*, serie IV, t. III, p. 205).

Glan, *Wied. Ann.*, 58, p. 131.

C. Maltézos, *Sur quelques propriétés des rayons X traversant des milieux pondérables* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 1115).

A. Stefanini, *Sulle radiazioni invisibili e sui raggi X* (*N. Cimento*, serie IV, t. IV, p. 19).

Saccenders, *Nature*, LIII, p. 316.

Briançon, *Épreuves photographiques obtenues dans l'obscurité* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 390).

J. Hart Robertson, *Photographie des objets invisibles par l'arc électrique* (*Ecl. élect.*, t. VI, p. 507).

A. Nodon, *Espériences sur les rayons de Röntgen* (*Ecl. élect.*, t. VI, p. 309).

R. Colson, *Action du zinc sur la plaque photographique* (*Comp. Rend.*, t. CXXIII, p. 49).

DEMARCAY, *Comp. Rend.* (24 luglio 1892).

H. PELLAT, *Sur la vaporisation des métaux à la température ordinaire* (*Comp. Rend.*, t. CXXIII, p. 104).

A. CORNU, *Annales de l'École normale*, 2.ª serie, t. IX, p. 23.

DE CHARDONNET, *Comp. Rend.*, 24 avril 1882, 12 e 19 février 1883.

H. BECQUEREL, *Sur les radiations émises par phosphorescence* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 420).

— *Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents* (*Comp. Rend.*, ivi, p. 501).

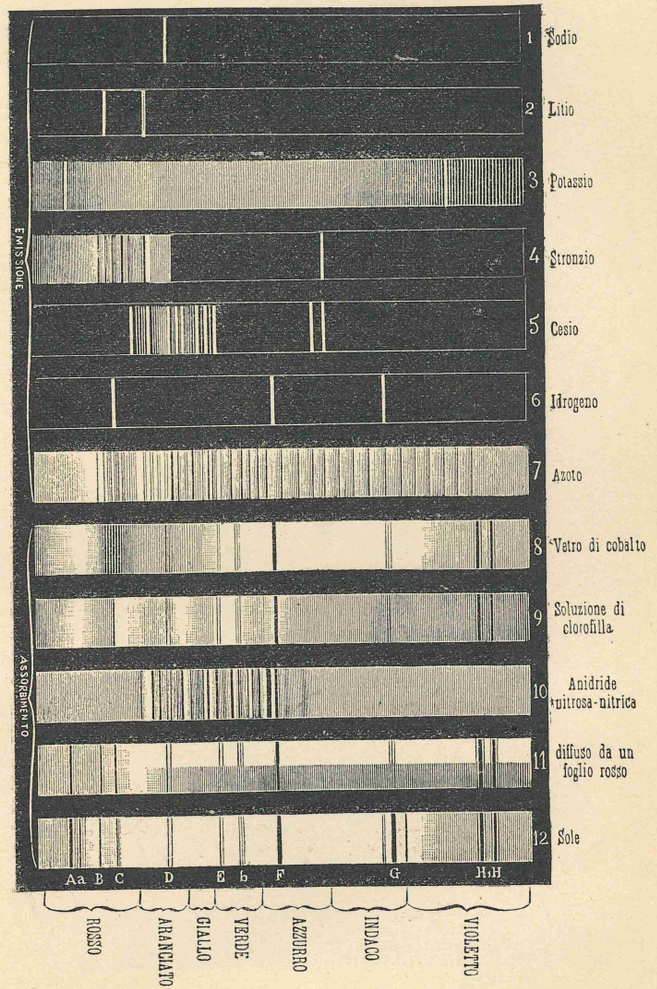
— *Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents* (*Comp. Rend.*, ivi, p. 562).

— *Sur les radiations invisibles émises par le sel d'uranium* (*Comp. Rend.*, ivi, p. 683).

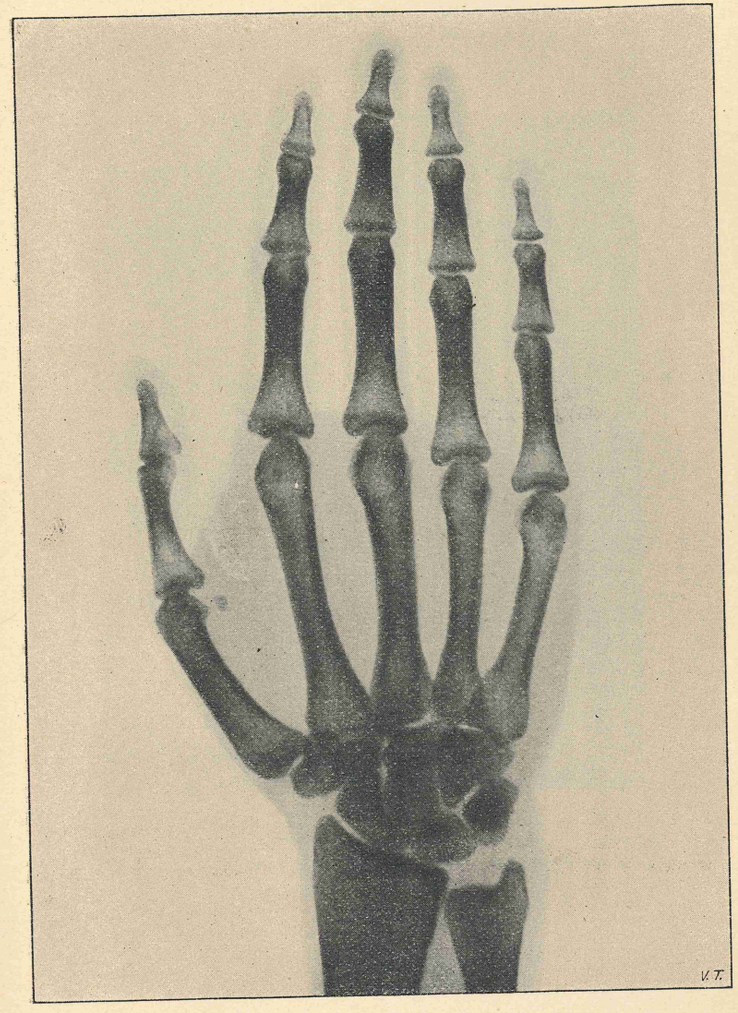
TROOST, *Sur l'emploi de la blende hexagonale artificielle pour remplacer les ampoules de Crookes* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 564).

HENRY, *Augmentation du rendement photographique des rayons Röntgen par le sulfure de zinc phosphorescent* (*Comp. Rend.*, t. CXXII, p. 312).

TAV. I.

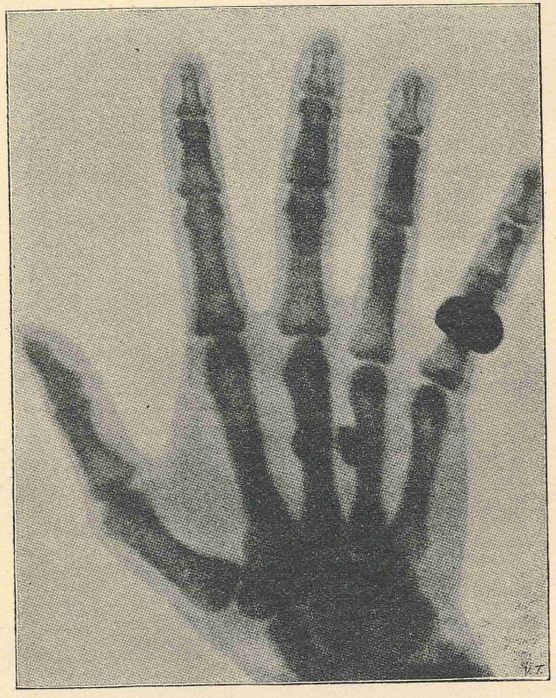


Tav. II.



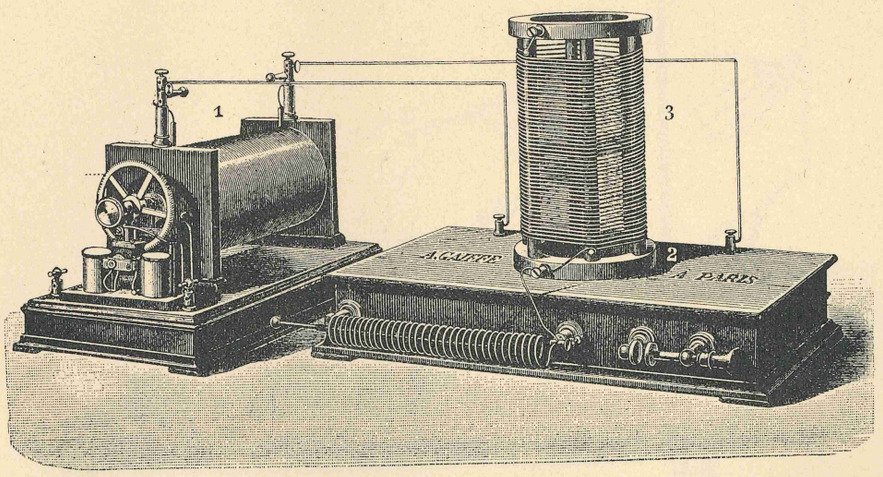
Mano normale.

Tav. III.



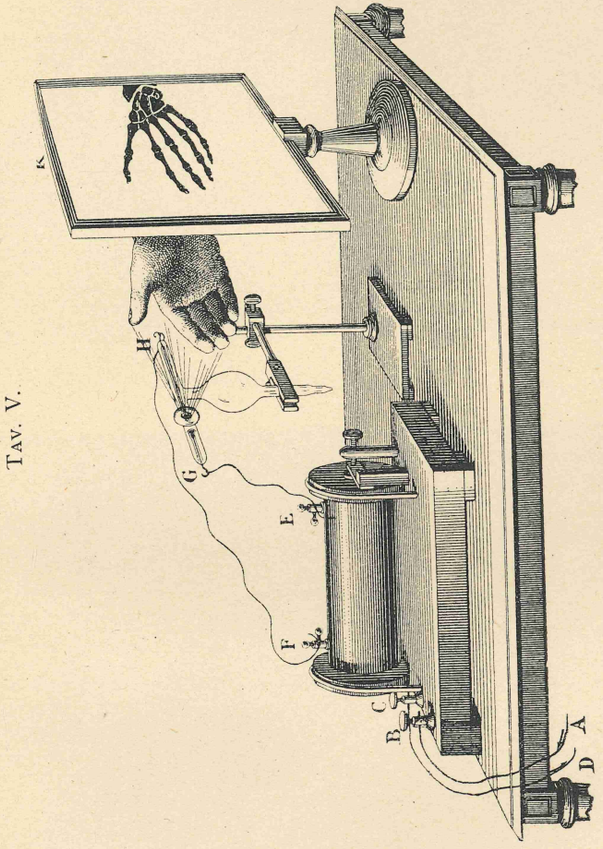
Palla di rivoltella
fra il terzo e il quarto metacarpo.

Tav. IV.

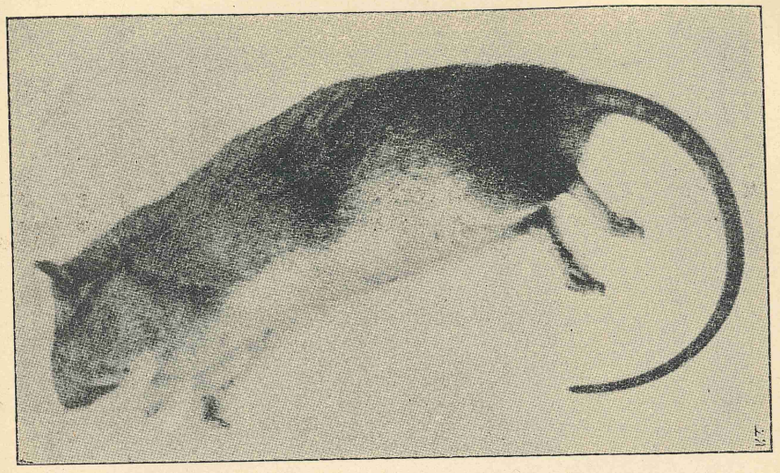


Apparecchio d'Arsonval-Gaiffe
per la produzione e l'uso terapeutico di correnti d'alta frequenza.

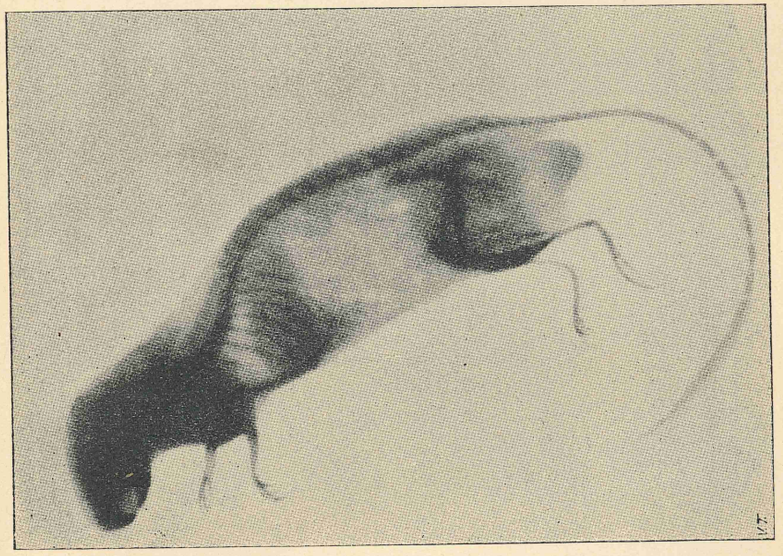
Tav. V.



Fluoroscopio.

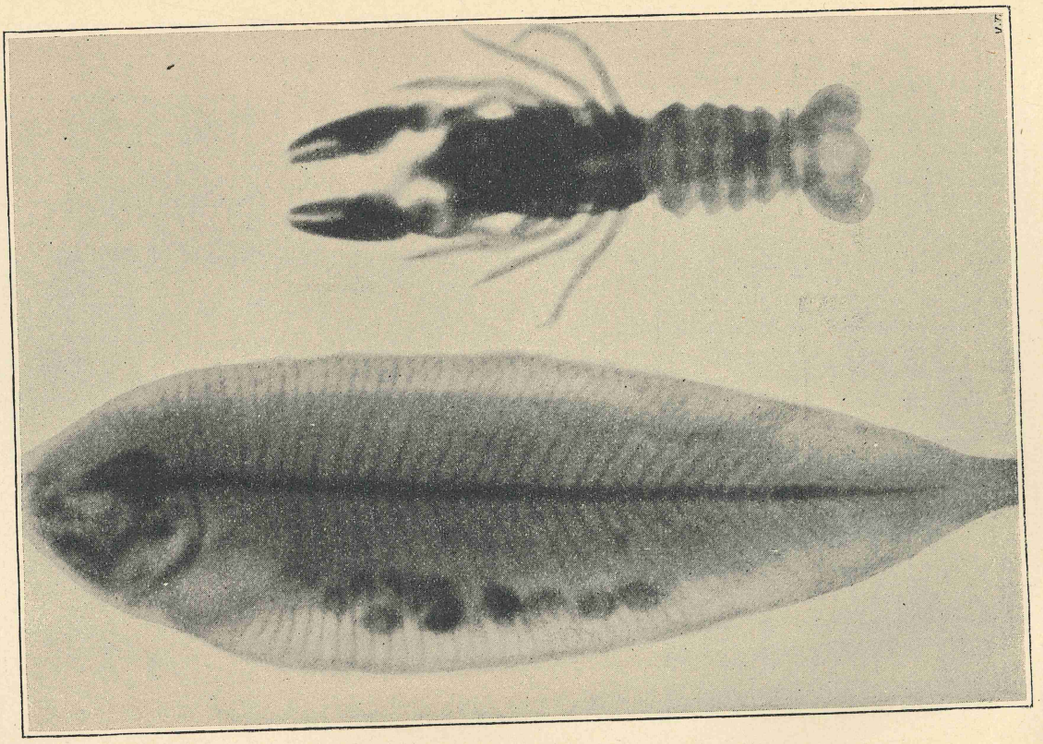


Fotografia di un grosso topo.

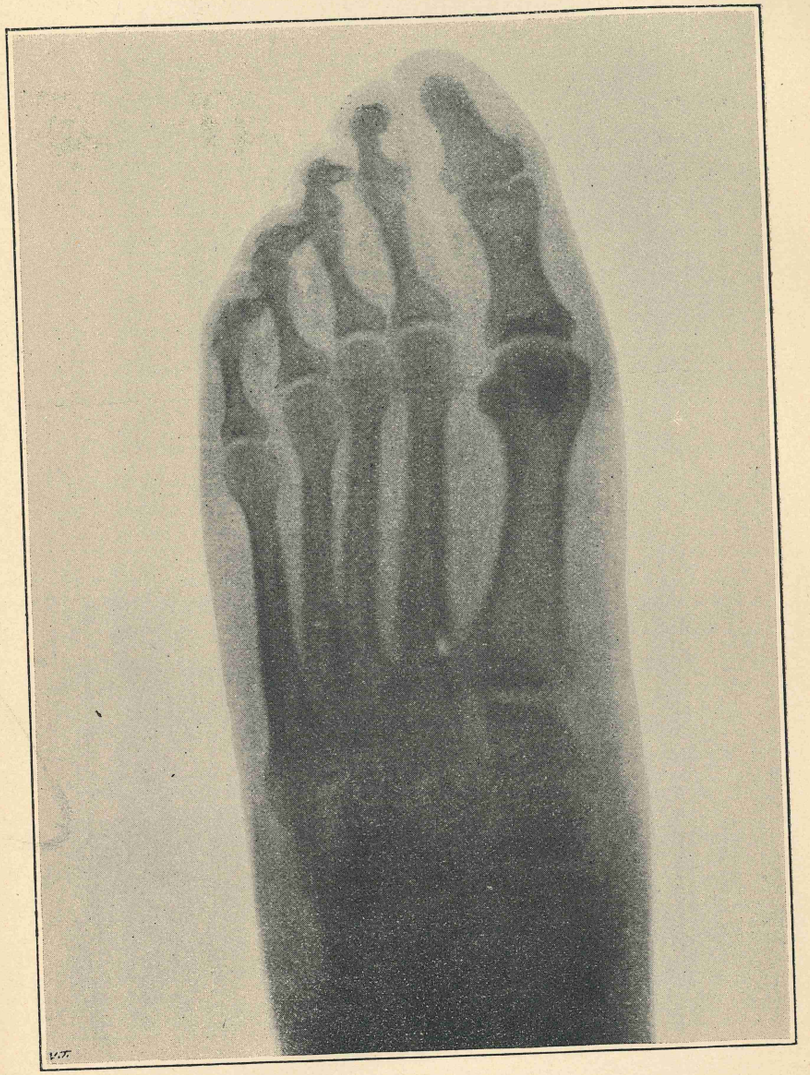


Radiografia del medesimo.

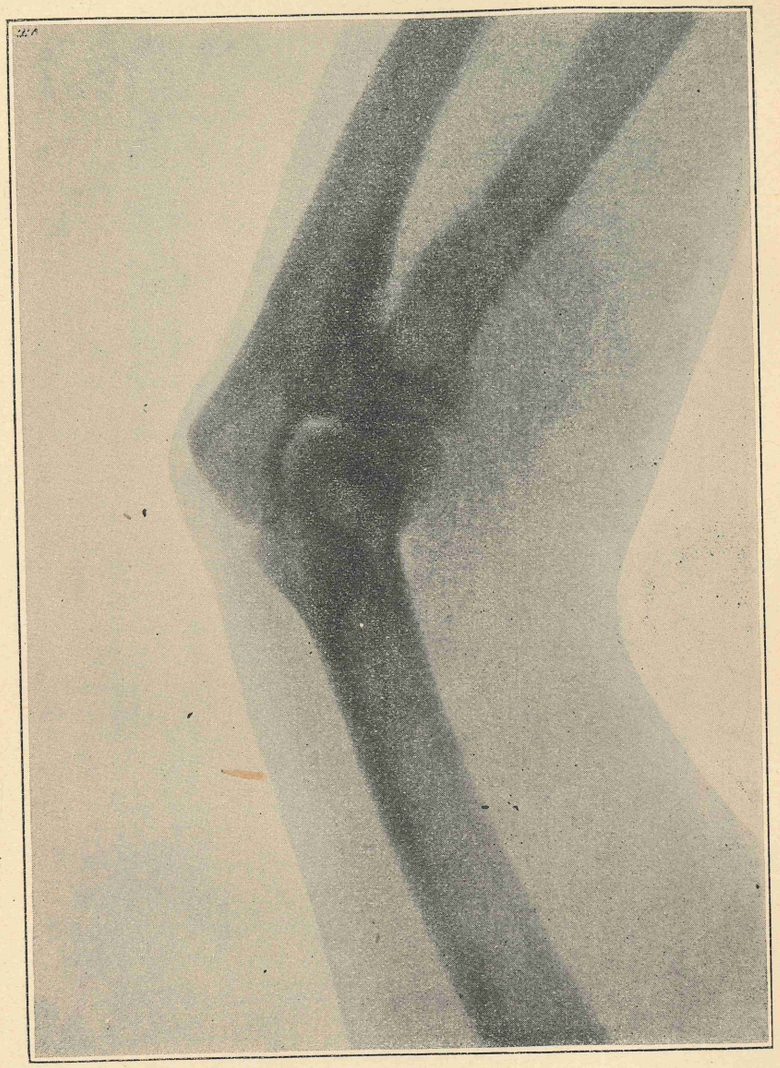
Tav. VII.



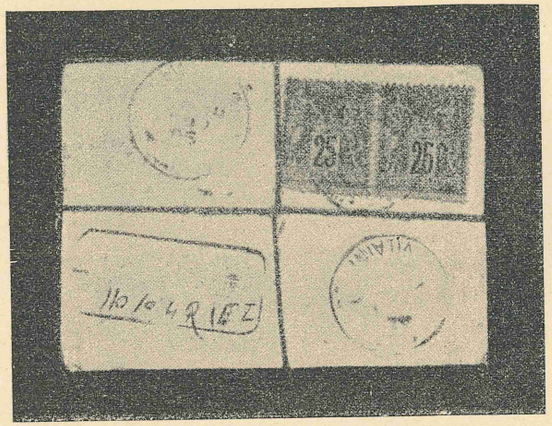
Radiografia di due pesci.



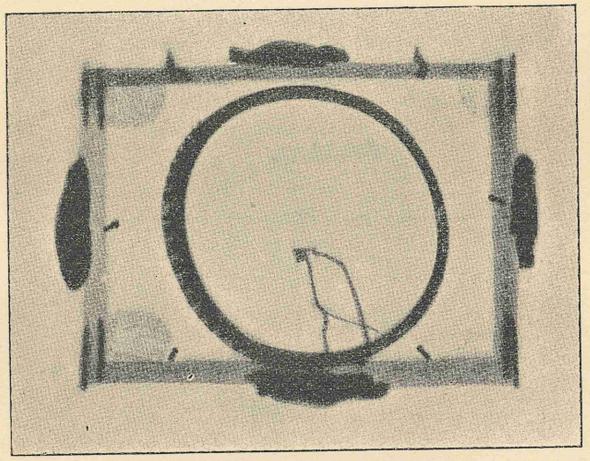
Radiografia di un piede abituato a strette calzature.



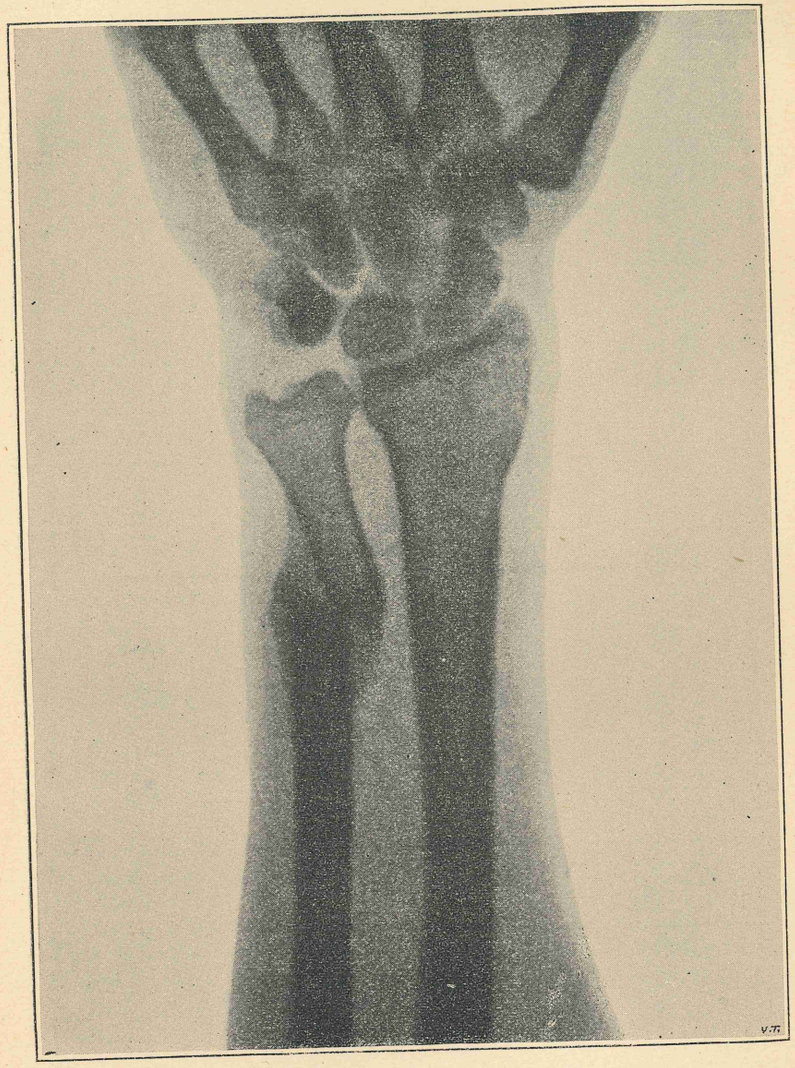
Articolazione del gomito.



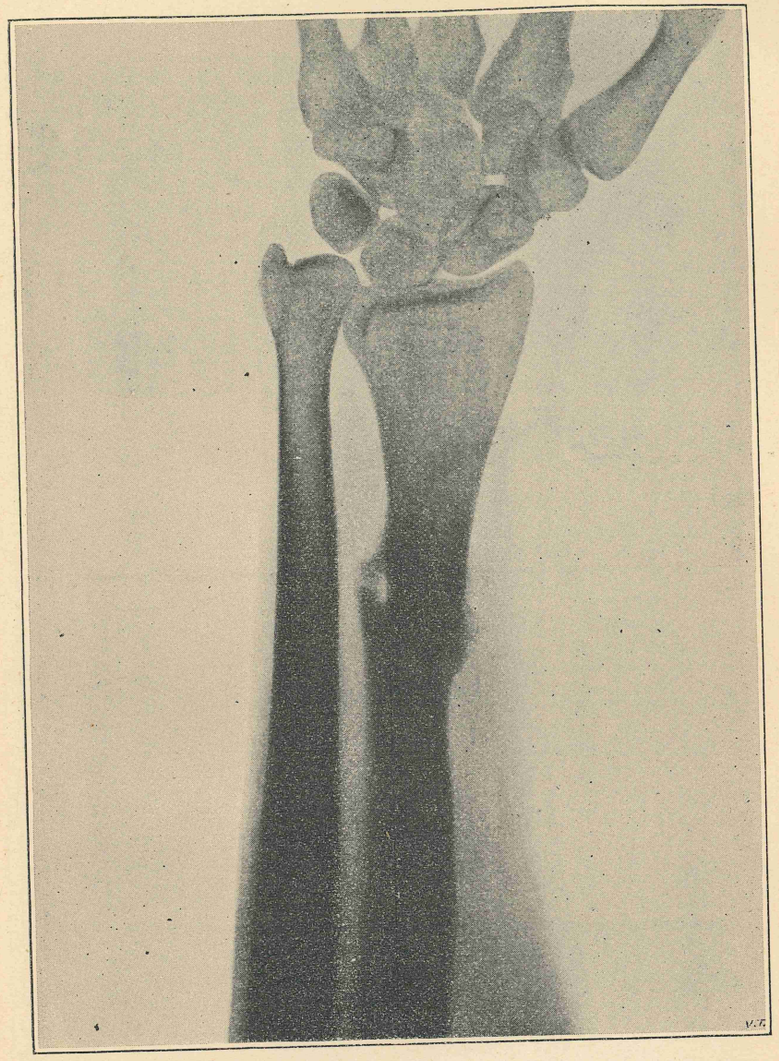
Fotografia di una cassetta spedita per la Posta.



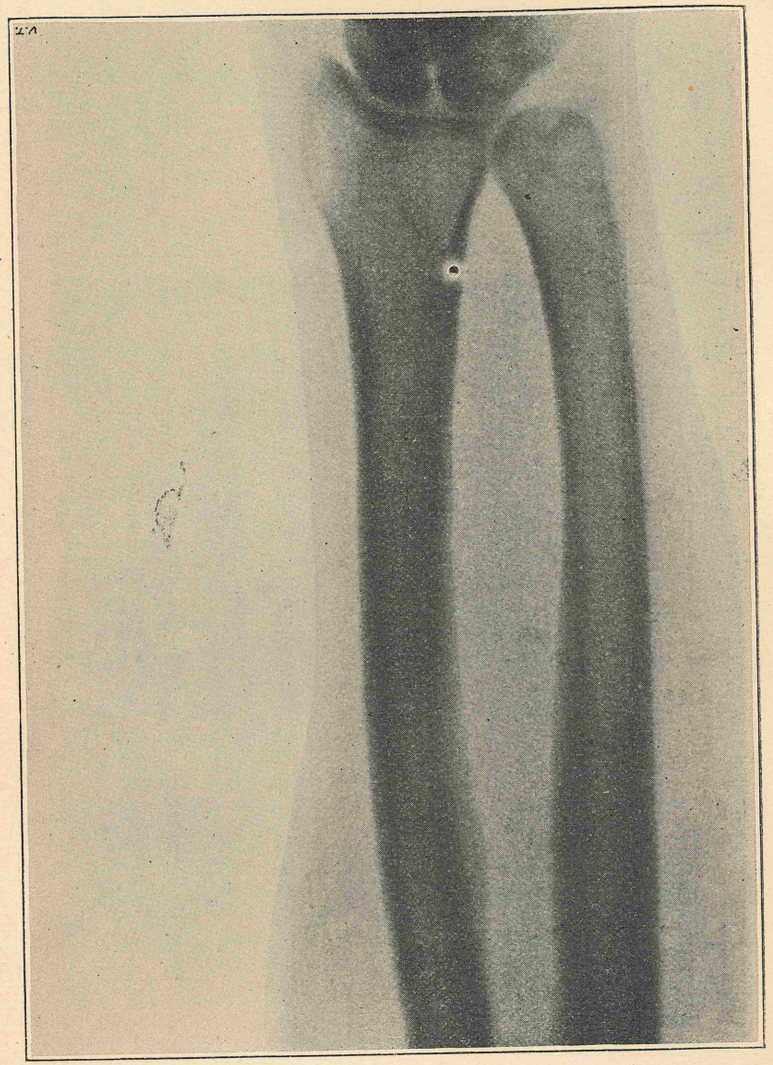
Radiografia della stessa.



Frattura dell' ulna.



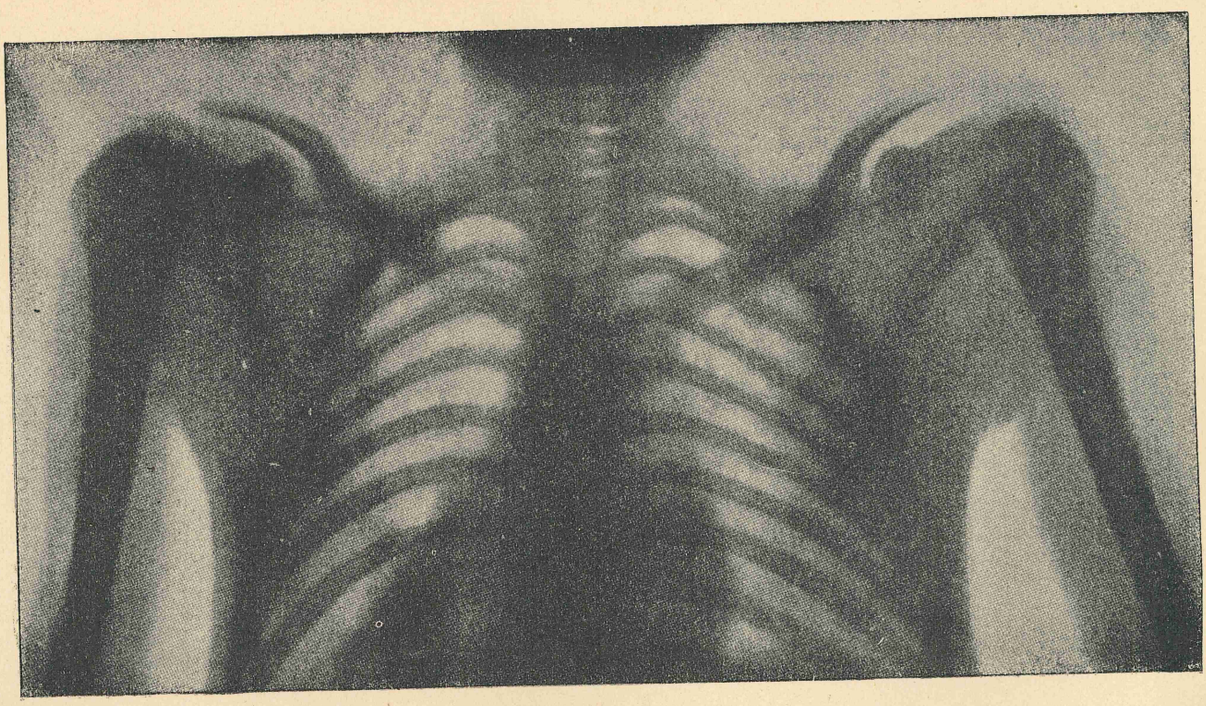
Frattura del radio consolidata.



Corpo estranco nello spessore del radio.

Asportazione delle ossa del carpo,
con resezione de' capi articolari.

Tav. XV.



Scheletro di un giovane di 16 anni.

B83-3
P75
RDB 7/91

LUCE
E
RAGGI
RONTGEN

MURANI